

Joonas Heiskanen

# Vuosikertomusten visuaalinen ilme 3D- teknologioita soveltaen

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Mediatekniikan koulutusohjelma  
Insinööri  
24.5.2011

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Joonas Heiskanen Vuosikertomusten visuaalinen ilme 3D-teknologioita soveltaen 49 sivua + 1 liite 24.5.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	mediatekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	digitaalinen media
Ohjaajat	toimitusjohtaja Tomas Westerholm 3D-artisti Jari Pakarinen yliopettaja Harri Airaksinen
<p>Insinööriyönä toteutettiin mainostoimistolle asiakasprojekti, jossa tuotettiin kahden pörs-siyhtiön vuosikertomuksen grafiikan 3D-osuudet taiteellisen johtajan ohjeiden mukaan 3D-teknologioita soveltaen. Tehtävänä oli tuottaa 25 painokelpoista A3-kokoista kuvaa. Kaikki kuvat tuotettiin Autodesk 3Ds Max -ohjelmalla ja jälkikäsittely suoritettiin Adobe Photoshop CS3 -ohjelmalla. Tuotantoprosessiin kuuluivat materiaaliskannaukset ja skannattujen kuvien käsittely, 3D-mallinnus, kameran täsmäminen, valaisu, teksturointi ja materiaalien mappaus, renderöinti, jälkikäsittely, asiakkaalla hyväksyttäminen ja asiakkaan vaatimat korjaukset. Mallinnettavat kohteet olivat erilaisia kuutioita ja pakkauksia, jotka monin tavoin ilmensivät yritysten tuotteita, toimintaa ja arvoja.</p> <p>Asiakasprojekti oli haasteellinen ja laaja kokonaisuus. Sen toteuttamiseksi käytettiin laajaa valikoimaa 3D-tekniikoita. Mallintamisvaiheen haasteet liittyivät asiakkaan tarkkoihin vaatimuksiin luotavien objektien geometrian suhteen, mutta nämä ongelmat ratkaistiin harkitusti valittuja 3D-työkaluja käyttäen. Myös materiaalit oli toteutettava mahdollisimman todenmukaisesti, ja tässä auttoivat luotavien materiaalien esikuvina käytetyt todelliset viitemateriaalit. Virtuaalistudion rakentaminen ja kuvien renderöinti olivat ajankäytöllisesti haastava osa tuotantoa, sillä tekijälle kohtalaisen uusina asioina nämä työvaiheet vaativat eniten opettelua ja uusien tekniikoiden sisäistämistä.</p> <p>Projektin edetessä kuvien tuottamisen kokonaisprosessi yhdenmukaistui ja tuloksena syntyi järjestelmällinen tuotantomenetelmä. Insinööriyö on käyttökelpoinen ohjeistuksena ja kehyksenä myös muiden vastaavankaltaisten projektien toteuttamista ajatellen. Asiakasprojektin tuloksena syntyneisiin kuviin oltiin tyytyväisiä niin asiakkaan kuin toimeksiantajankin puolelta.</p>	
Avainsanat	3D, 3Ds Max, mallintaminen, renderöinti, jälkikäsittely

Author Title	Joonas Heiskanen Visual appearance of annual reports utilizing 3D technologies
Number of Pages Date	49 pages + 1 appendice 24 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Media Technology
Specialisation option	Digital Media
Instructors	Tomas Westerholm, CEO Jari Pakarinen, 3D artist Harri Airaksinen, Principal Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was carried out as a customer project and the goal was to produce 3D components of the visual appearances for two annual reports. The total amount of the images to be produced were 25, the paper size being A3. All of the images were produced and rendered with Autodesk's 3Ds Max. Post-processing was carried out with Adobe's Photoshop CS3. The majority of the images went through the following procedures: material scanning and processing of scanned images, 3D modeling, camera matching, lighting setup, texturing and mapping, rendering, post processing, client approval and required fixing operations. The objects to be modeled were different kind of boxes and packages which represented the products, business and values of the companies in many different ways.</p> <p>Altogether the customer project was a wide and a challenging task. Several 3D techniques were used in order to accomplish the project. The biggest challenges considering the modeling stage were formed from the client's request of having accurate and realistic geometry for the modeled objects. These problems were solved by using deliberate 3D tools for each modeling task. The materials created were intended to be realistic and credible, and the best aid for this mission was a package full of genuine reference materials. Construction of the virtual studio and image rendering were the most challenging things when considering time consumption. As fairly new techniques for the author, these tasks needed the biggest amount of learning and internalization of new techniques.</p> <p>As the project went on, the overall process of the image production became uniform and the end result was a systematic manufacturing process. As a result, this thesis will hopefully be usable as a guide and framework when encountering similar projects. Both the advertising agency and the employer were satisfied with the project outcome.</p>	
Keywords	3D, 3Ds Max, modeling, rendering, post-processing

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Asiakkaan vaatimukset ja esityöt	3
2.1	Tuotantotekniset vaatimukset	3
2.2	Esityöt	5
3	Mallinnusvaihe	8
3.1	3D-grafiikka	8
3.2	3D-mallin rakentuminen ja geometrian toteuttaminen	9
3.3	Modifikaattorit ja modifikaattoripino	10
3.4	Siivekkeiden luustorakenne	14
4	Virtuaalistudion rakentaminen	15
4.1	Viitekuvien asettaminen taustakuvaksi	15
4.2	Kameran täsmäminen	16
4.3	Virtuaalistudion elementit	18
4.4	Virtuaalistudion valaistus	19
4.5	Projektissa kokeillut valojärjestelmät	21
5	Teksturointi	24
5.1	Materiaalieditori ja materiaalit	24
5.2	Tekstuurit	26
5.3	Arch & Design -materiaali	27
5.4	Multi/Sub-object-materiaali	27
5.5	Käytetyt karttatyytit ja kartan muokkaus	28
5.6	Materiaalin luonti	30
5.7	Materiaalin asettaminen UVW Map -modifikaattorin avulla	32
6	Renderöinti ja Mental Ray -renderöintimoottori	34
6.1	Mental Ray -renderöintimoottori	34
6.2	Renderöintiasetusten valitseminen	41
6.3	Renderöintiasetukset projektissa	41

7	Jälkikäsittely Photoshopissa	42
7.1	Render Elements -tasot	42
7.2	Varjojen ja valaistuksen viimeistely	43
7.3	Tekstuurikorjaukset, jälkiteksturointi ja tekstipäivitykset	43
8	Yhteenveto	45
	Lähteet	47
	Liitteet	
	Liite 1. Tuotettuja kuvia	

## Termistö

3Ds Max: Autodeskin ammattilaiskäyttöön suunnattu 3D-mallintamiseen, -visualisointiin ja -animointiin tarkoitettu ohjelma

Ambient Occlusion (AO): Likiarvoinen pehmeitä varjoja tuottava globaalia valaistusta jäljittelevä varjostustekniikka

Arch & Design: Erityisesti arkkitehtonista ja tuotesuunnittelua varten suunniteltu Mental Ray -materiaalikirjasto

Bump map: Harmaasävykartta, jonka avulla materiaalin tai objektin pintaan luodaan illuusio pinnan epätasaisuudesta valon ja varjon avulla ilman todellisia geometriamuunnoksia, vrt. displacement map

Camera matching: Tekniikka, jonka avulla kaksiulotteisen kuvan päälle voidaan täsmätä 3D-malli tai -ympäristö

Daylight System: 3Ds Maxin valaistusjärjestelmä, joka perustuu auringon maantieteellisiin kulmiin ja liikkeisiin annetulla sijainnilla

Displacement map: Harmaasävykartta, jonka avulla materiaalin tai objektin pintaan luodaan todellisia geometriamuunnoksia, vrt. bump map

Edge: Viiva, joka yhdistää kaksi verteksiä toisiinsa, polygonin kylki

Final Gather (FG): Epäsuoran valaistuksen menetelmä, jossa kappaleiden pinnalta lähtevät säteet tuottavat tietoa valaistusta varten

Global illumination (GI): Epäsuoran valaistuksen menetelmä, jossa seurataan valonlähteistä lähtevien säteiden käyttäytymistä

HDR: High Dynamic Range, laajan dynamiikan tarjoava kuvantamismenetelmä. HDR-kuvaa voidaan käyttää laajan dynamiikkansa ansiosta realistiseen 3D-ympäristön valaisuun

Mental Ray: 3Ds Max -ohjelmaan integroitu Mental Imagesin renderöintimoottori

Mental Ray Sky Portal: Erityisesti sisätilavalaisussa seinärakenteiden aukkokohdissa käytetty valo-ohjain, vaatii Skylight-komponentin toimiakseen oikein

Mix map: Toiminto, jonka avulla kaksi väriä tai materiaalia voidaan sulauttaa yhdeksi pinnaksi ja säätää niiden välistä suhdetta

Noise map: Useimmiten proseduraalinen kohinakartta

Polygoni: Kolmesta tai useammasta pisteestä muodostuva 3D-mallin pinnan rakenne-osa, monikulmio

Region render: Menetelmä, jossa todellisesta kuva-alasta rajataan ja renderöidään vain haluttu alue, tehokas menetelmä työajan ja tehon säästämiseksi

Render elements: Kokoelma renderöinnin yhteydessä tuotettavia jälkikäsittelyn joustavuutta lisääviä kokonaiskuvasta eriteltyjä visuaalisia tasoja

Renderöinti: Kuvantaminen, vaihe, jossa kolmiulotteinen näkymä muunnetaan kaksiulotteiseksi pikseligrafiikaksi

Reflection map: Harmaasävykartta, joka määrittelee pinnan alueelliset heijastusarvot

Sampling quality: Menetelmä, jolla vaikutetaan pikselikohtaisen näytteenottotarkkuuden avulla renderöitävän kuvan reunapehmennyksen laatuun

Verteksi: Polygonin kulma- tai kärkipiste

## 1 Johdanto

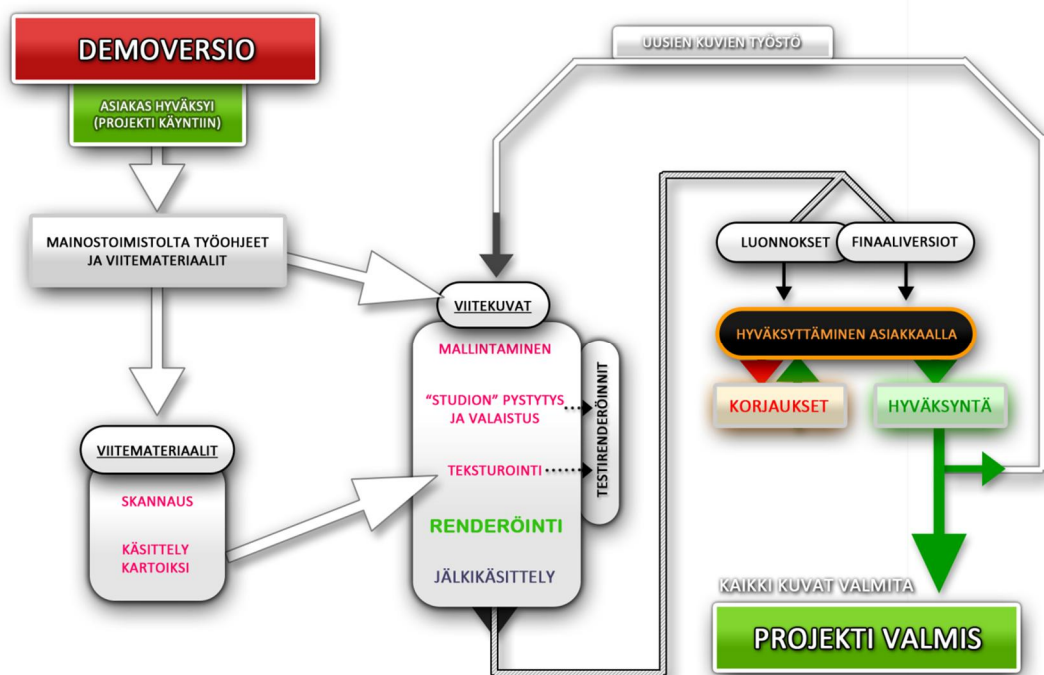
Insinöörityönä toteutetaan asiakasprojekti mainostoimisto Zeeland Oy:lle. Projektiin kuuluu kahden pörssiyhtiön, Metsäliiton ja M-real Oy:n, vuoden 2010 vuosikertomusten [1; 2] visuaalisen ilmeen 3D-osuuden toteuttaminen taiteellisen johtajan ohjeistusta noudattaen. Projektin visuaalista ilmettä koskevasta ohjeistuksesta vastaa mainostoimisto Zeeland Oy:n taiteellinen johtaja Petteri Meriluoma, joka myös hyväksyy tuotettavat kuvat. Työnantaja on 3DRender Oy, josta neuvoa ja ohjausta tarjoavat toimitusjohtaja Tomas Westerholm ja 3D-artisti Jari Pakarinen.

3D-grafiikan hyödyntäminen visuaalista kokonaisilmettä tukevana elementtinä on viime vuosikymmenen aikana yleistynyt huomattavasti. Perinteiseen valokuvaukseen verrattuna 3D-teknologia tarjoaa aivan uudenlaisia eväitä luovuuden ja ideoiden toteuttamiseen, koska todellisen maailman rajoitteet ja virheet voidaan unohtaa. Suunnittelijoille eri 3D-tekniikat tarjoavat uudenlaista vapautta luovan työskentelyn toteuttamista silmällä pitäen, ja mahdolliset vastaan tulevat rajat muodostuvatkin useimmiten mielikuvituksen ja luovuuden rajoitteista eivätkä niinkään teknisistä esteistä. Myös perinteisemmässä tuotesuunnittelussa saavutetaan uudenlaista vapautta ja joustavuutta virtuaalisen studioympäristön avulla. Usein säästetään myös aikaa ja rahaa, kun mallihahmotelmat voidaan toteuttaa ja kuvantaa ilman todellista käsinkosketeltavaa tuotetta, jonka tuotantoprosessi saattaisi kestää kuukausia. Tuote voidaan siis nähdä tietokoneen näytöltä jo ennen todellisen fyysisen vastineen olemassaoloa. Varsinaisesta tuotemallinnuksesta ei tässä projektissa ollut kyse, mutta tuotemallinnuksessa käytettäviä tekniikoita hyödynnettiin läpi koko projektin.

Insinöörityön 3D-mallinnus- ja visualisointityöt tehdään Autodeskin 3Ds Max -ohjelmaa käyttäen ja kuvien jälkikäsittely Adobe Photoshop CS3 -ohjelmalla. Mallinnettavat kohteet ovat erilaisia pakkauksia ja kuutioita, jotka eri tavoin ilmentävät yhtiöiden tuotteita, toimintaa ja arvoja. Tuotettavana on kaikkiaan 25 kuvaa. Työn loppuun kootaan osa tuotettavista kuvista [liite 1]. Lopullisiin vuosikertomuksiin liitettäviin kuviin mainostoimisto lisää taustagrafiikat.



Kunkin kuvan luomistyö sisältää monivaiheisen prosessin, ja tämä prosessi insinöörityö-raportissa pyritään purkamaan johdonmukaisesti eri osa-alueisiin työvaiheiden ja niiden suoritusjärjestyksen perusteella [kuva 1]. Työvaiheiden toistuvan luonteen vuoksi kus-takin työvaiheesta nostetaan tarpeen mukaan esiin yksi hyväksi katsottu esimerkki. Osa työvaiheista tai tekniikoista esitetään selkeyden vuoksi yksinkertaistetuin kuva-esimerkein. Nämä kuvat eivät välttämättä liity asiakasprojektiin, vaan niiden tehtävä on esitellä kulloinkin käsiteltävä asia mahdollisimman selkeästi.



Kuva 1. Suurpiirteinen kaavio projektityön kulun eri vaiheista.

Työssä pyritään myös selvittämään projektityön varrella vastaan tulevat ongelmat, haasteet ja opeteltavat asiat.

## 2 Asiakkaan vaatimukset ja esityöt

### 2.1 Tuotantotekniset vaatimukset

Ennen varsinaisen projektin käynnistämistä asiakas tilasi valitsemastaan kuutiosta demoversion varmistuakseen halutusta työnlaadusta [kuva 2]. Demoversio työstettiin syksyllä 2010, ja varsinainen hyväksyntä projektille saatiin muutama kuukausi tämän jälkeen tammikuussa 2011.



Kuva 2. Asiakkaalle syksyllä 2010 toimitettu demokuutio.

Mainostoimisto toivoi projektissa tuotettavilta kuvilta raikasta, annettujen viitekuvien mukaista asettelua, tunnelmaa ja ilmettä [kuva 3]. Tärkeässä roolissa ja asiakkaan vaatimuslistalla olivat myös laadukkaat pintamateriaalit, jotka poikkeuksetta ovat tärkeä osa-alue 3D-grafiikassa minkäänlaista fotorealismia tavoiteltaessa.



Kuva 3. Metsäliiton vuosikertomuksen kansilehden viitekuvasta käy ilmi kuiltu toivottu tunnelma.

Asiakkaan vaatimukset mallien geometriaa koskien olivat melko yksityiskohtaiset. Esimerkiksi siivekkeellisten pahvipakkausten tapauksessa oli otettava huomioon pakkaus-ten reunojen pyöristykset, kylkien pullistumat, seinämäpaksuus ja siivekkeiden kupe-ruus. Joidenkin geometrysten ominaisuuksien kohdalla asiakas toivoi testausta parhaan mahdollisen lopputuloksen takaamiseksi. Esimerkiksi kylkien pullistumisen voimakkuu-den kohdalla oli löydettävä sopiva tasapaino riittävän realismin ja siistin lopputuloksen takaamiseksi. Asiakkaan toimittamaa todellista M-realin pahvipakkausta käytettiin kaik-kien mallinnettujen kuutioiden mittapuuna: koska todellisen pakkauksen leveys ja sy-vyys olivat seitsemän senttimetriä, mallinnettiin kaikki kuutiot tämän mittaustuloksen pohjalta.

Materiaalit oli tarkoitus toteuttaa asiakkaan toimittaman viitemateriaalipaketin pohjalta mahdollisimman tarkasti. Todellisista esineistä koostuvan viitemateriaalipaketin lisäksi suuri osa pinnoille asetetusta grafiikasta ja teksteistä toimitettiin mainostoimiston puo-lesta sitä mukaa, kuin projekti eteni ja kuvat valmistuivat. Materiaalien toteuttaminen esikuviaan vastaaviksi oli yksi projektin haasteellisimmista ja opettavaisimmista vaiheis-ta. Materiaalien hylkäykset olivatkin useimmiten syynä asiakkaan vaatimiin uusintakier-

roksiin. Kaikkein haastavimmat ja eniten aikaa vieneet materiaalit olivat sellu, wc-paperi, paperipino ja folio.

Valaistuksessa kaikki keinot olivat sallittuja, kunhan lopputulos täsmäisi annettuihin viitekuviin valon suunnan, valaistuksen voimakkuuden ja pakkauksiin osuvien heittovarjojen kohdalta [kuva 3, s. 4]. Viitekuviissa valo tulee pääasiallisesti melko matalasti sivuilta, kuvasta riippuen joko vasemmalta tai oikealta. Tämä loi kuutioihin valo- ja varjopuolet, joita ei tosin sopinut liikaa korostaa, jotta toivottu raikas ja kevyt yleisilme toteutuisi.

## 2.2 Esityöt

Projektin ensimmäinen käytännön työvaihe oli tarvittavien pintatekstuurien luonti ja kerääminen. Mainostoimisto toimitti tarvittavat viitemateriaalit, joiden pohjalta suurin osa käytetyistä tekstuureista luotiin. Viitemateriaalipaketti sisälsi M-realin tuotteita, kuten pahvipakkauksia, foliopintaisen pahvipakkauksen ja wc-paperia. Metsäliiton tekstuurien luomiseksi materiaalipaketissa oli pala Kerto-puuta ja sellukartonki [kuva 4]. Nämä viitemateriaalit oli tarkoitus toteuttaa 3Ds Max -ohjelmassa luotavien kuutioiden pintaan mahdollisimman tarkasti ja luonnollisesti.



Kuva 4. Viitemateriaaliksi toimitettiin muun muassa pala Kerto-puuta [3].

Toimitetun viitemateriaalipaketin lisäksi tarvittavia grafiikoita saatiin mainostoimistolta ja tarvittavia tekstuureja kerättiin CGTextures-sivustolta ja ostettiin iStockphoto-sivustolta [4; 5]. Lisäksi käytettiin yrityksen omaa materiaalikirjastoa.

Materiaalipaketin materiaalit skannattiin Epson Perfection 3170 PHOTO -tasoskannerilla. Skannatut tekstuurit tallennettiin korkealla tarkkuudella osittain siksi, että osasta tuotettavia kuvia saatettaisiin tuottaa julistekokoisia vedoksia, ja osittain siksi, että skannatut ja käsitellyt tekstuurit tallennettiin yrityksen sisäiseen materiaalikirjastoon mahdollista myöhempää käyttöä varten.

Materiaaleista Kerto-puu ja wc-paperi osoittautuivat skannauskelpoisiksi. Wc-paperin skannaustulos muistutti melko paljon työssä seuraavaksi käsiteltävän sellun epäonnistunutta skannaustulosta, mutta jälkikäsitteilyprosessin jälkeen tekstuuri havaittiin käyttökelpoiseksi. Sellukartongin skannaaminen ei onnistunut, sillä skannerin antama kuva paloi pahasti puhki. Ilmeisin syy tähän oli valon voimakas heijastumisilmiö valkoisen sellun pinnalta ja siitä johtuva kuvan ylivalottuminen. Ylivalottumisen välttämiseksi sellua nostettiin pienillä tuilla hiukan irti skannerin pinnasta. Tämä tapa toimi osittain, mutta sellun joustavan rakenteen vuoksi aiheutti harmaasävyisen valotusliu'un skannattuun kuvaan. Tässä vaiheessa skannerin säätöihin tutustuminen olisi saattanut ratkaista tilanteen, etenkin siinä tapauksessa, että skannerin tarjoama valovoima olisi ollut säädettävissä. Sellun lähempi tarkastelu kuitenkin osoitti materiaalin toteuttamisen olevan mahdollista sopivia proseduraalisia noise-karttoja ja kuviotekstuureja bumpkanavassa käyttäen. Tästä syystä sellun skannausprosessi keskeytettiin. Tarkastelun jälkeen sellussa havaittiin olevan noin kolmea kaavamaista kuviota, joita 3D-ohjelmassa olisi jäljiteltävä ja sulautettava keskenään uskottavan lopputuloksen aikaansaamiseksi [kuva 5]. Myös valon käyttäytyminen sellun pinnalla ja sen toteuttaminen 3D-ohjelmassa osoittautui haasteelliseksi.



Kuva 5. Sellumateriaalin muodostuminen.

Skannaamalla tuotettuja tekstuureja oli paranneltava monin tavoin ja muokattava kuvankäsittelyohjelmassa käytettävän karttatyyppin vaatimalla tavalla. Syitä skannatuille kuville tehtäviin parannuksiin voi olla useita, ja etenkin diffuusikartoille suoritettavat parannukset ovat melko pitkälti samoja kuin perinteisille valokuville suoritettut perus-

korjaukset. Korjattavia asioita voivat olla esimerkiksi sävyasteikon suppeus, valotusvirheet, rajausta, epäkohtien poistaminen ja väritasapainon säätäminen. Eniten perinteisestä kuvakorjailusta eroaa erilaisten materiaalien ominaisuuksiin vaikuttavien kuvakarttojen luonti. Näitä karttoja ovat muun muassa bump- ja reflection-kartat, ja niiden avulla erilaisten materiaalien fotorealismista astetta on mahdollista nostaa. Näiden karttojen luomisprosessiin ja ominaisuuksiin perehdytään luvussa 5.5.

Varsinaista mallinnusvaihetta varten viitemateriaaleista tarvittiin myös useita mittoja ja materiaalien käyttäytymistä selventäviä testejä. Pahvipakkauksista mitattiin seinämävahvuus, kulmaitosten halkaisija ja pakkausten ulkoiset mitat. Sellukartongille tehtiin taittokokeita havainnollistamaan taitettujen kulmien käyttäytymistä, muotoa ja rakennetta. Mittojen ottaminen ja kohteiden mallinnus oikeassa mittasuhteessa on erityisen tärkeää renderöinnissä käytetyn Mental Ray -renderöintimoottorin vuoksi. Väärät mittasuhteet saattavat johtaa epärealistiseen lopputulokseen, sillä Mental Ray pyrkii jäljittelemään luonnossa tapahtuvaa valon käyttäytymistä.

### 3 Mallinnusvaihe

#### 3.1 3D-grafiikka

3D-grafiikan renderöintiä edeltävien työvaiheiden suoritusjärjestys on useimmiten sama. Siihen kuuluvat suoritusjärjestyksessä mallintaminen, valaistus ja teksturointi [kuva 6].



Kuva 6. Mallintamisen, valaistuksen ja teksturoinnin tavanomaisin työjärjestys.

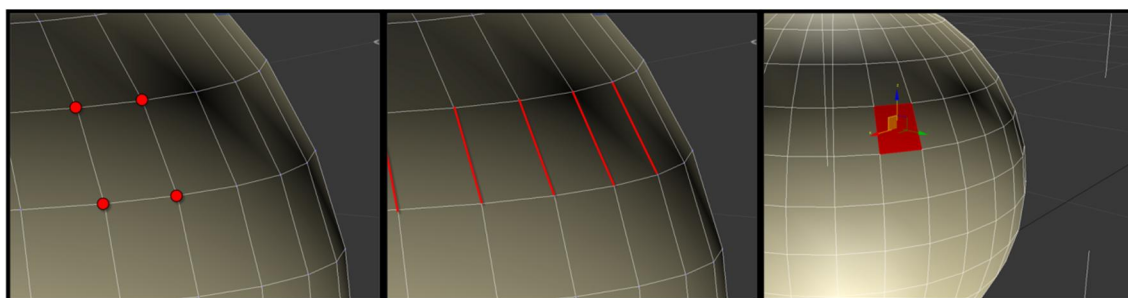
Ensimmäinen työvaihe on luonnollisesti mallintaminen. Valaistuksen suorittaminen ennen varsinaista teksturointia on yleensä järkevää, koska valaistuksen rakentaminen ja tarkastelu yhtä ainoata kevyttä materiaalia käyttäen on helpompaa. Tämän lisäksi valaistuksen testirenderöintiä suorittaminen ilman raskaita materiaaleja ja mahdollisesti laajaa materiaalikirjastoa säästää huomattavasti renderöintiin tarvittavaa aikaa.

3D-grafiikka on oikeassa maailmassa esiintyviä tilaulottuvuuksia jäljittelevää tietokonegrafiikkaa. 2D-grafiikasta 3D-grafiikka erottuu illuusiolla kolmannelta ulottuvuudesta. 3D-grafiikassa ulottuvuudet ovat korkeus, leveys ja syvyys, kun taas kaksiulotteisesta grafiikasta syvyys puuttuu [6]. Esimerkiksi 3D-mallinnusohjelmassa objekteja kytetään kolmannen ulottuvuuden ansiosta tarkastelemaan mistä suunnasta tahansa. Kolmannelta ulottuvuudesta huolimatta 3D-grafiikka projisoidaan yleensä kaksiulotteiselle kuvapinnalle, kuten tietokoneen näytölle [7, s. 10].



### 3.2 3D-mallin rakentuminen ja geometrian toteuttaminen

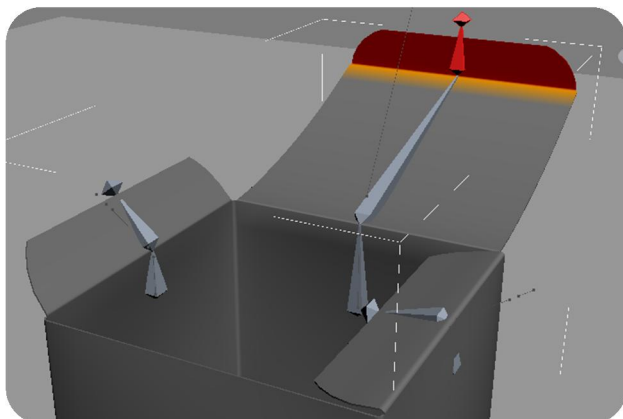
3D-mallit rakentuvat vertekseistä, edgeistä ja polygoneista [kuva 7]. Helppo tapa 3D-mallin rakenteen ymmärtämiseksi on kuvitella se neliöistä koostuvaksi verkoksi, jossa kutakin yksittäistä neliötä kutsutaan polygoniksi. Polygoni taas koostuu ihanteellisessa tapauksessa neljästä reunasta eli edgestä, jotka ovat polygonien välisiä saumoja. Verteksit ovat yksittäisiä pisteitä, jotka löytyvät edgejen risteyskohdista. Polygonit on syytä pitää neliskulmaisina, jotta säästytään ongelmilta teksturointi- ja renderöintivaiheissa. [8, s. 3.]



Kuva 7. Verteksit, edget ja polygoni.

Toinen varsinainen työvaihe projektissa oli mallintaminen. Projektissa mallinnettavien kohteiden yksinkertaisuuden vuoksi mallintamisprosessi oli melko suoraviivainen ja kohtalaisen nopea toimenpide. Perusgeometria kullekin kuutiotyypille (pahvipakkaukset, puu-kuutiot, wc-paperi, sellu jne.) luotiin box-mallista jaokkeiden lukumäärää ta-paus-kohtaisesti vaihdellen. Tämän jälkeen käytettiin tarvittavia modifikaattoreita halutun muodon ja lopputuloksen aikaansaamiseksi. Käytetyimmät modifikaattorit olivat Edit Poly-, Shell-, FFD 4x4x4-, Turbo Smooth ja UVW Map -modifikaattorit. Haastavin toimenpide mallinnusvaiheessa oli pahvipakkauksille luotavien siivekkeiden ja kansien saattaminen kontrolloitaviksi. Siivekkeistä ja kansista oli saatava helposti ja nopeasti kontrolloitavat tehokkaan ajankäytön takaamiseksi ja turhan työn minimoimiseksi. Siivekkeiden kontrollointia varten pahvipakkausten siivekkeille luotiin yksinkertainen luus-torakenne, jota kontrolloimalla siivekkeiden asentojen muuttaminen oli nopeaa ja yk-sinkertaista [kuva 8].

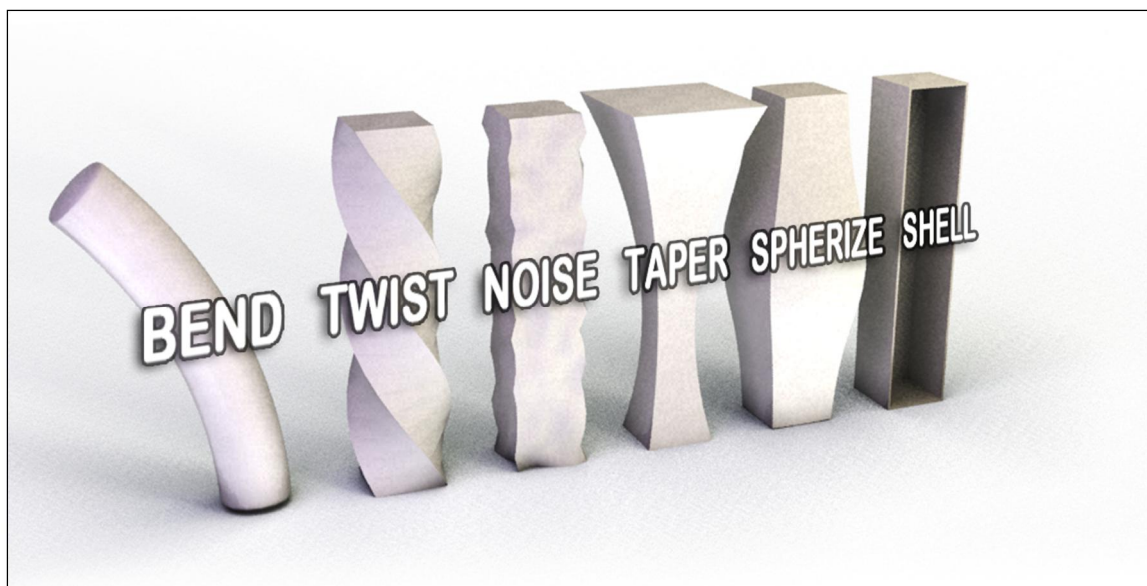




Kuva 8. Siivekkeellisissä pakkauksissa käytetty luustorakenne ja yksittäisen luun vaikutusalue geometriassa (värjätty alue).

### 3.3 Modifikaattorit ja modifikaattoripino

3Ds Max -ohjelma tarjoaa objektien muovaamista ja editointia varten suuren joukon erilaisia modifikaattoreita. Modifikaattorit nimensä mukaisesti muuttavat tai muokkaavat objekteja, ja modifikaattoreiden toiminnan hahmottamiseksi modifikaattorikokoelma kannattaakin mieltää eräänlaisiksi 3D-maailman työkalupakiksi [kuva 9].



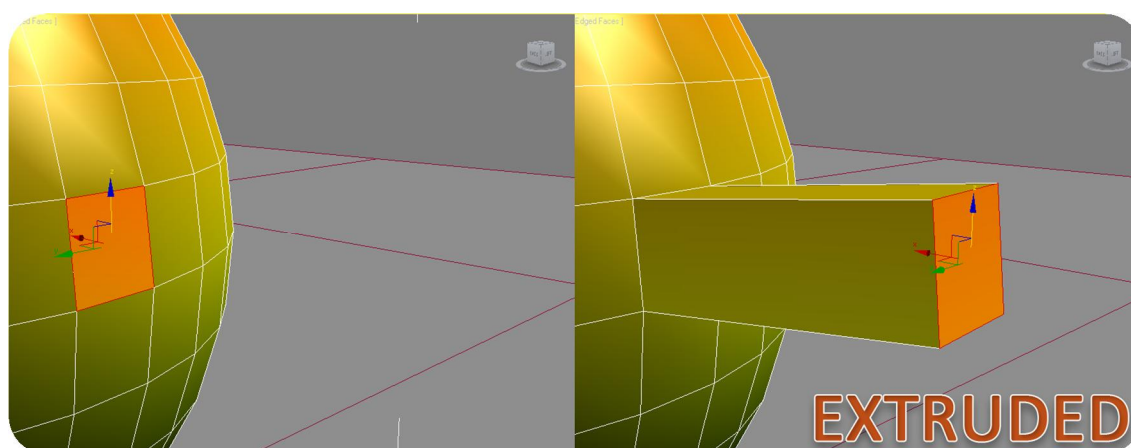
Kuva 9. Esimerkkejä geometriaa muokkaavista modifikaattoreista.

Modifikaattorit järjestyvät objektille syöttämisen jälkeen listamaisessa modifikaattoripinossa yksiulotteiseksi alhaalta ylöspäin jatkuvaksi modifikaattoripinoksi. Modifikaattorien järjestyksellä modifikaattoripinossa on merkitystä, sillä jokainen modifikaattori vaikuttaa seuraavaan asetettavaan modifikaattoriin. Modifikaattorit tuovat huomattavaa joustavuutta mallien muokkaamiseen, sillä ne mahdollistavat mallien tuhoamattoman

editoinnin ja tarjoavat siis eräänlaisen historiatoiminnon. Modifikaattoripinon voidaan lisätä rajaton määrä modifikaattoreita, ja yksittäisen modifikaattorin poisto mistä tahansa modifikaattoripinon kohdasta on mahdollista. Tämä poisto luonnollisesti poistaa kyseisen modifikaattorin vaikutuksen kyseiseltä mallilta. Modifikaattoreita voidaan myös kopioida objektien välillä, ja useamman objektin ollessa samaan aikaan valittuna voidaan yhden modifikaattorin syötöllä muokata jokaisen valitun objektin ominaisuuksia yhden ja saman modifikaattorin avulla. [9.]

### Edit Poly -modifikaattori

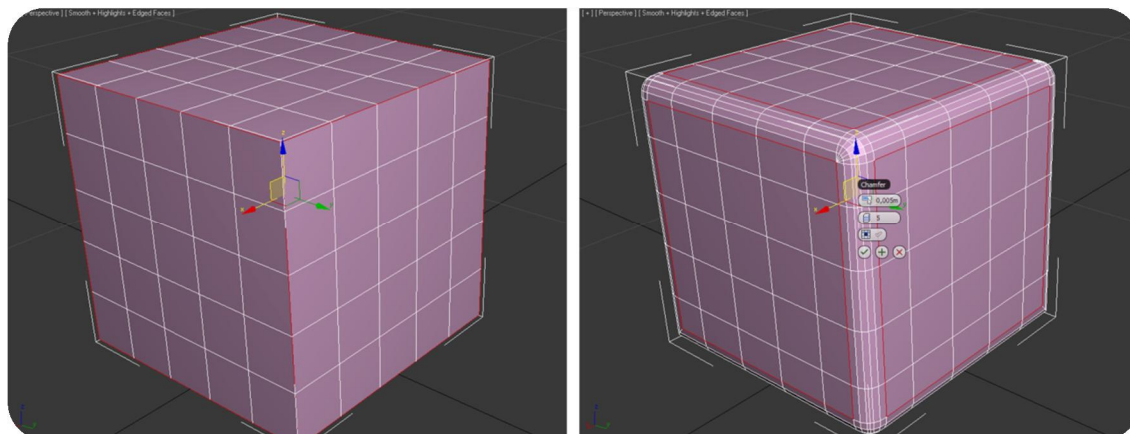
Edit Poly -modifikaattori tarjoaa käytännölliset työvälineet 3D-objektien muokkaamiseen. Modifikaattori tarjoaa valittavaksi viisi eri valintatasoa, jotka mahdollistavat pääsyn objektin verteksi-, edge-, border-, polygoni- ja elementtitasolle. [10.] Valintatyökalujen lisäksi Edit Poly -modifikaattori tarjoaa joukon erilaisia työkaluja objektien muokkaamista varten. Esimerkiksi Extrude-toiminnon avulla valitun polygonin pursottaminen onnistuu helposti [kuva 10].



Kuva 10. Extrude-toiminnon avulla voidaan pursottaa polygonia.

Modifikaattorin kautta onnistuu myös objektin materiaalitunnuksien muokkaus ja pehennysryhmävalinnat [8, s. 4].

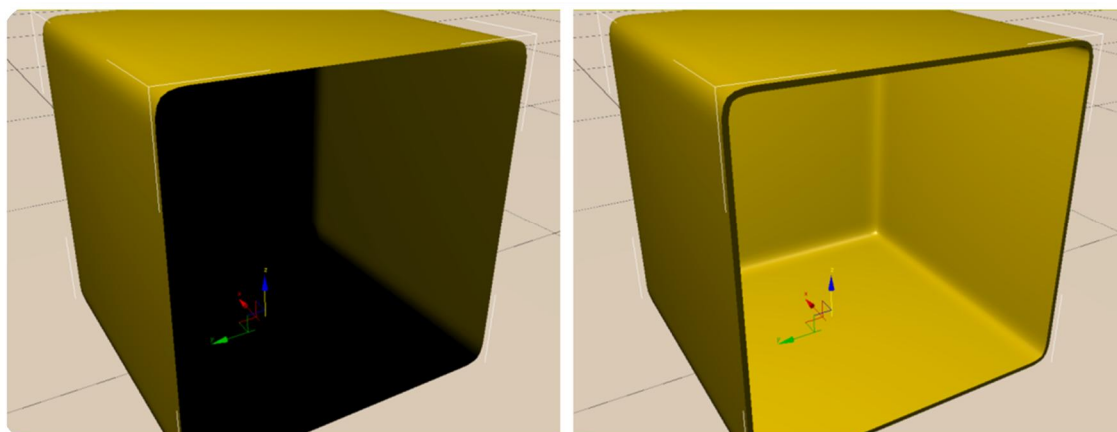
Muun muassa Chamfer-toiminto on Edit Poly -modifikaattorin sisäinen toiminto. Chamfer-toiminnon avulla osalle kuutioista toteutettiin reunojen pyöritykset. Chamfer-toiminnon käyttämiseksi Edit Poly -modifikaattorin viidestä valintatasosta valittiin Edge-valintamoodi, poimittiin objektista halutut reunat ja avattiin Chamfer-toiminnon säätövalikko. Chamfer-valikosta määriteltiin haluttu pyörityksen voimakkuus ja jaokkeiden määrä [kuva 11].



Kuva 11. Kuutio ennen Chamfer-muokkausta ja sen jälkeen.

### Seinämävahvuudet (Shell Modifier)

Kuutioilla ei automaattisesti luomisen jälkeen ole seinämävahvuutta vaan ainoastaan ulospäin näkyvät pinnat. Seinämävahvuuden määrittäminen kuution kaltaiselle yksinkertaiselle objektille oli helpointa suorittaa Shell-modifikaattorilla, joka antaa objektille halutun paksuisen kaksipuolisen kuoren. Pahvipakkaukset saivat seinämävahvuudeksi 0,35 millimetriä esitoissa suoritettujen mittausten perusteella. Kuva 12 havainnollistaa kuution poikkileikkausta, jossa seinämävahvuus on Shell-modifikaattorin syötön jälkeen selkeästi nähtävillä. Mikäli Shell-modifikaattoria ei ole, ei havaita myöskään seinämän vahvuutta [kuva 12].



Kuva 12. Kuutio ennen Shell-modifikaatiota (vasen) ja sen jälkeen (oikea).

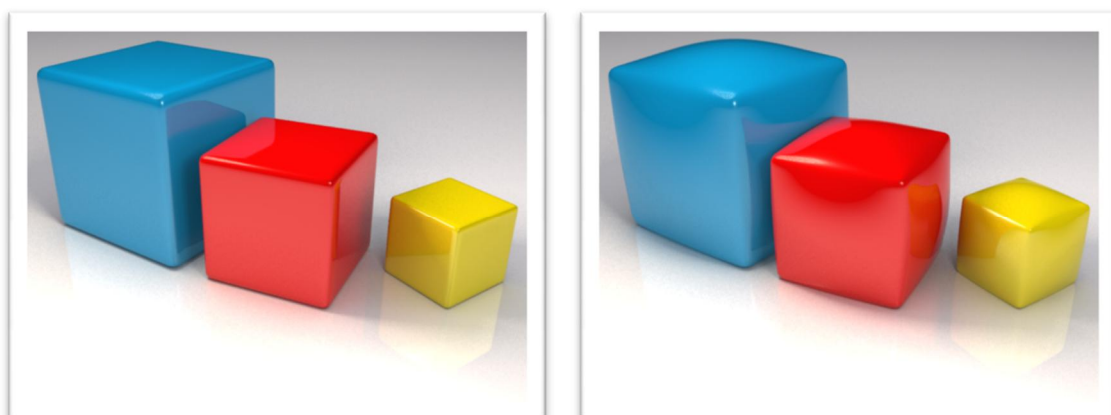
Kuvasta on myös havaittavissa voimakkaasti tummunut sisus, joka johtuu siitä, että sisäpuolella ei ole todellista pintaa. Mikäli kuva tässä tapauksessa renderöitäisiin, nähtäisiin kuutiosta ainoastaan ulkopinnat ja sisäpintoja ei havaittaisi lainkaan. Oikean-

puoleisessa kuvassa samalle kuutiolle on annettu shell-modifikaattori yhden millimetrin sisäarvolla. Modifikaation jälkeen kuutio saa todellisen sisäpinnan ja valitun vahvuisen seinämän.

#### Pakkausten pullistumat (FFD modifier)

Todellista pahvipakkausta lähemmin tarkasteltaessa on havaittavissa, että pakkauksen kyljet eivät ole aivan suorat, vaan ne kaareutuvat ulospäin. Tämä aiheutuu pakkausten taitosten luomasta jännitteestä, joka osittain vapautuu pakkauksen kylkien pullistumisena. 3Ds Max -ohjelmassa tätä ilmiötä on helppo simuloida FFD-modifikaattorilla (Free-Form Deformation modifier). 3Ds Max tarjoaa kolme erilaista FFD-modifikaattoria. Modifikaattorit ovat muutoin identtiset, mutta niiden kontrolliverkkojen kontrollipisteiden määrä vaihtelee.

FFD-modifikaattoria käytettäessä on huomioitava objektin riittävä polygonimäärä, jotta haluttu efekti saadaan aikaan. Mikäli kuution kukin kylki koostuisi ainoastaan yhdestä polygonista, ei kylkien pullistumaa saataisi aikaan, sillä ainoastaan FFD-modifikaattorin kulmia kontrolloivilla pisteillä olisi verteksit (tässä tapauksessa kylkien polygonien kulmat) hallittavanaan. Mikäli FFD-modifikaattorin kontrollipisteitä kuitenkin skaalattaisiin kasvaksi koko kuutio normaalin skaalauksen tavoin pullistumatta lainkaan. Kuvassa 13 on suoritettu FFD 4x4x4 -modifikaatio kolmelle erikokoiselle kuutiolle.



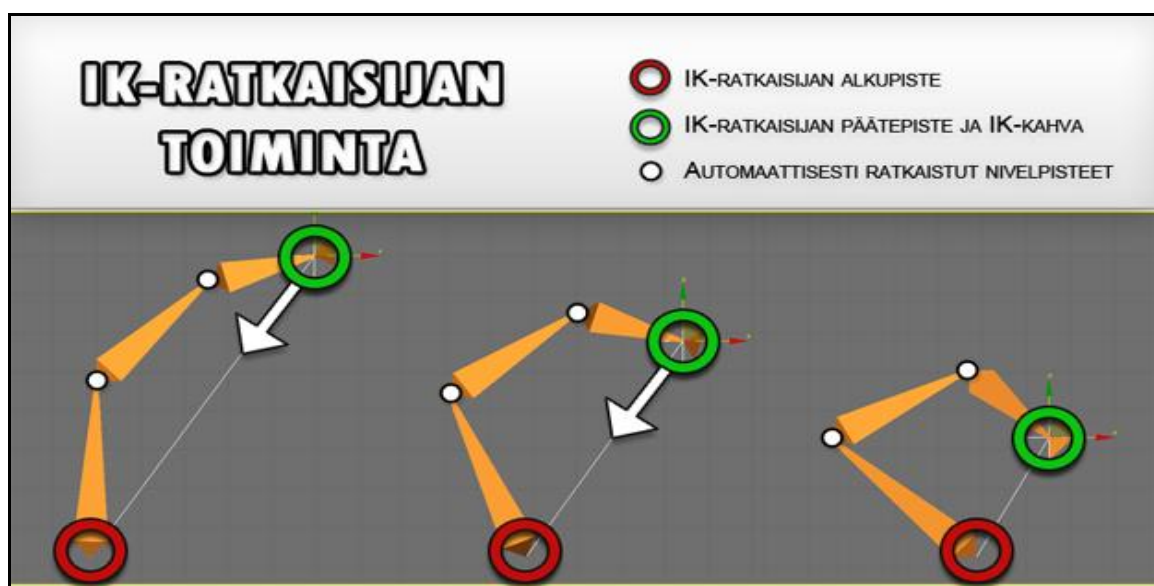
Kuva 13. Kuutiot ennen FFD-modifikaatiota (vasen) ja sen jälkeen (oikea).

FFD 4x4x4 -modifikaattori tarjoaa neljä kontrollipistettä koordinaatiston joka akselille ja muodostaa kullekin kyljelle 16 pisteen kontrollointiverkon. Kunkin kyljen kontrolliverkosta valittiin keskimmäiset 4 pistettä yhtäaikaaisesti, ja niitä skaalattiin suhteessa

kunnes haluttu lopputulos saatiin aikaan. Kuvassa modifikaatio on tarkoituksella liioiteltu modifikaattorin toiminnan havainnollistamiseksi.

### 3.4 Siivekkeiden luustorakenne

Siivekkeellisten pakkausten kullekin siivekkeelle luotiin yksinkertainen luustorakenne (Bones) nopean kontrolloinnin takaamiseksi. Luustorakenne luotiin 3Ds Max -ohjelman bones-työkalua käyttäen. Bones-työkalun avulla luuston luonti on melko suoraviivaista ja nopeaa. Kullekin luulle voidaan esimerkiksi polygoneja maalaamalla määrittää haluttu vaikutusalue. Luiden vaikutusaluekohtaiset intensiteetit voidaan määritellä verteksin tarkkuudella. Kuvasta 8 nähdään pakkauksen lipan kärkiluulle annettu vaikutusalue punaisena ja oranssina alueena. Luuston helpon hallittavuuden takaamiseksi käytettiin käänteiskinemaattista ratkaisijaa (IK Solver), joka ratkaisee määriteltujen päätepisteiden väliset nivelet automaattisesti luustorakenteen perusteella [kuva 14].



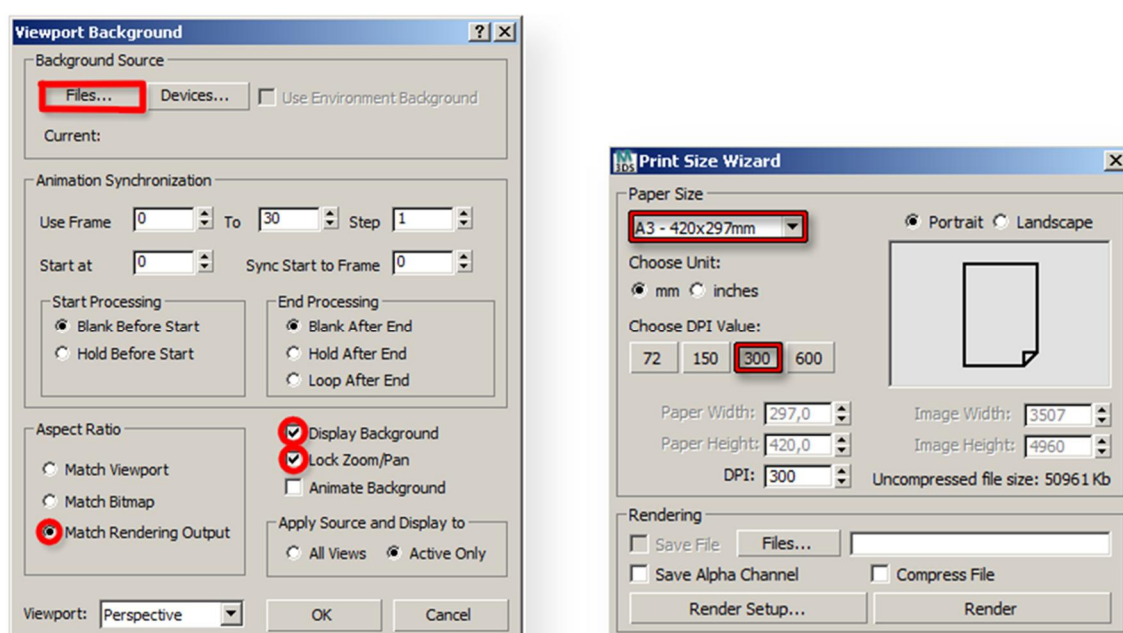
Kuva 14. IK-ratkaisijan toimintaperiaate.

IK-ratkaisijan luontivaiheessa syntyy IK-kahva, jota liikuttamalla muu luusto seuraa automaattisesti mukana. Luuston käyttäytymistä voidaan kontrolloida ja rajoittaa muun muassa määrittämällä nivelten taitoskulmille ääriasentoja.

## 4 Virtuaalitudion rakentaminen

### 4.1 Viitekuvien asettaminen taustakuvaksi

Mainostoimiston toimittamat viitekuvat oli saatava 3Ds Max -ohjelman työskentelyikkunan taustakuviksi oikeassa kuvasuhteessa, jotta viitekuvien käyttö mallintamisen apuna ja kameran täsmäämisessä olisi mahdollista. Viitekuvat asennettiin taustakuviksi kuvan 15 mukaisesti ohjelman Views-valikon Viewport Background -toiminnolla [11, s. 5]. Valikon Files-painiketta painamalla päästään näkymään, jonka kautta viitekuva etsitään ja valitaan.



Kuva 15. Taustakuvan asetus (vasen) ja kuvakoon ja -laadun asettaminen (oikea).

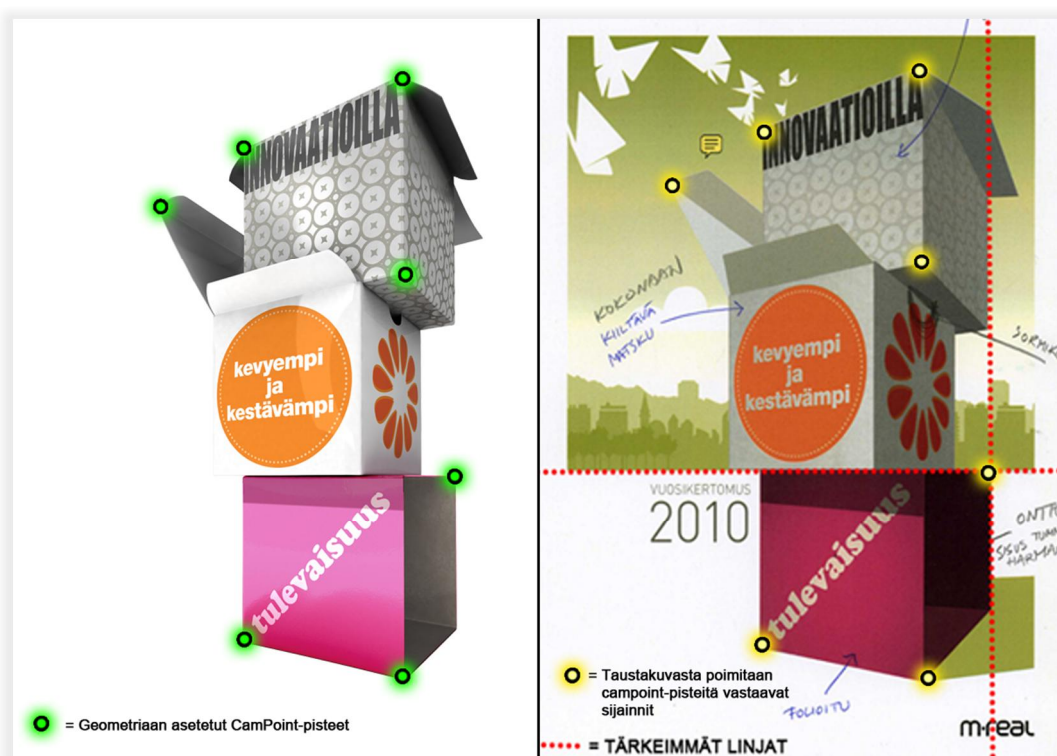
Lisäksi valikosta on asetettava kuvasuhteen määrittäminen renderöintiresoluution kuvasuhdetta vastaavaksi valitsemalla Aspect Ratio -kohdasta Match Rendering Output -asetus. Jotta taustalle asetettu viitekuva ylipäättään näkyy eikä reagoi näkymän liikutteluun, on Display Background- ja Lock Zoom/Pan -kohdat aktivoitava. Viewport-näkymästä on syytä aktivoida Show Safe Frames -toiminto, jotta viitekuva näkyy taustalla kokonaisuudessaan. Viimeisenä säätönä renderöintiasetuksista löytyvä kuvasuhde on muutettava vastaamaan viitekuvan kuvasuhdetta. Helpoimmin tämä onnistuu standardipaperikokojen kohdalla Rendering-valikosta löytyvän Print Size Assistant -toiminnon avulla [kuva 15]. Projektin tapauksessa paperikooksi valittiin A3 ja DPI-



arvoksi 300. Näiden säätöjen jälkeen viitekuva on taustalla oikeassa suhteessa ja valmiina tositoimiin.

#### 4.2 Kameran täsmääminen

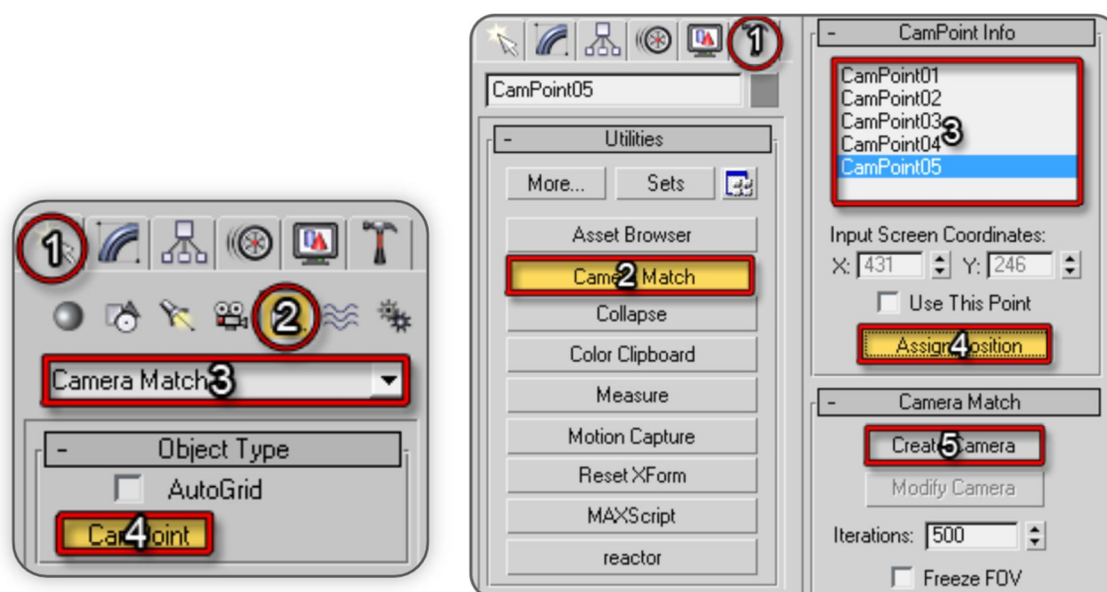
Kameran täsmäämistekniikka (Camera matching) mahdollistaa 3D-mallien tarkan sijoittelun kaksikulotteiseen kuvaan. Kamera oli täsmättävä mainostoimiston ehdot huomioiden. Kansikuvissa oli erityisen tarkkaa, että alhaalta katsoen ensimmäisen ja toisen laatikon välinen linja asettuisi horisontin korkeudelle täysin suorana ilman kolmatta ulottuvuutta ja lähempänä reunaa olevat kyljet asettuisivat viitekuvien linjojen mukaisesti [kuva 16].



Kuva 16. Esimerkki mahdollisesta CamPoint-pisteiden sijoittelusta (vasen kuva 3D-malli ja oikea kuva viitekuva) ja asiakkaan vaatimat tärkeimmät rajalinjat.

Mainostoimiston toimittamien viitekuvien suuntaa antavan luonteen vuoksi kameran täsmäämistekniikkaa hyödyntämällä päästiin kelvollisiin tuloksiin, mutta hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi hienosäätö oli tarpeen. Hienosäätö suoritettiin kameran sijaintia, polttoväliä ja näkökentän laajuutta muuttamalla.

Pisteisiin perustuvassa kameran täsmämisessä haluttuihin kohtiin 3D-ympäristöä, projektin tapauksessa geometriaan, asetetaan CamPoint-pisteet. 3Ds Max -ohjelma vaatii vähintään viisi CamPoint-pistettä täsmätäkseen kameran. CamPoint-pisteiden asetteluun käytettävä työkalu on Create-välilehden Helpers-valikon alta löytyvässä alasvetovalikossa nimellä Camera Match [kuva 17]. CamPoint-pisteiden asettelu aloitetaan CamPoint-painike aktivoimalla. [11.]



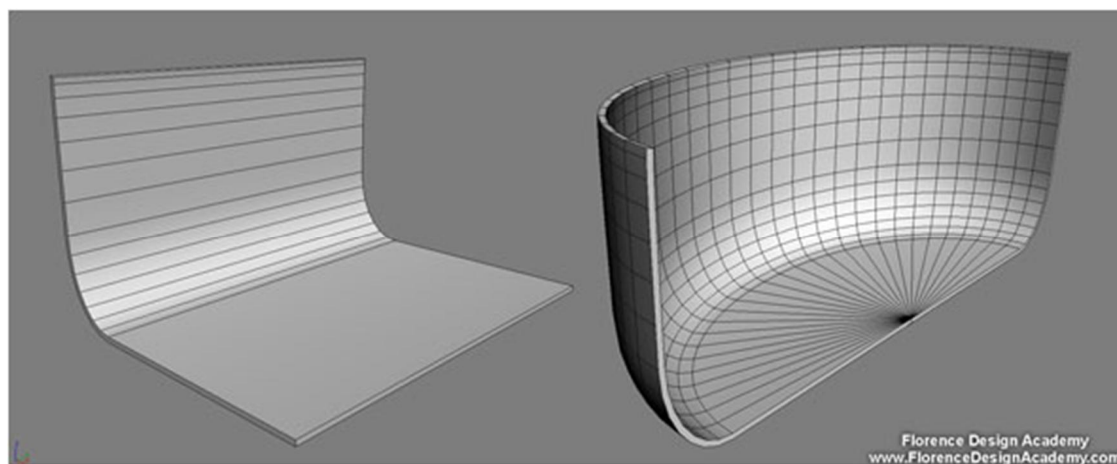
Kuva 17. Kameran täsmämisessä käytettävät valikot.

CamPoint-pisteiden kokonaissijoittelulle on asetettu muutamia vaatimuksia, jotta kameran täsmäminen varmasti toimii. Kaikki viisi pistettä eivät esimerkiksi saa sijaita samalla tasolla. CamPoint-pisteiden valinnan jälkeen prosessi jatkuu Utilities-välilhdeltä löytyvällä Camera Match -toiminnolla [kuva 17]. Tämä toiminto listaa asetetut CamPoint-pisteet, ja seuraava vaihe on valita Camera Match -toiminnon Assign Position -toiminnolla taustakuvasta kutakin CamPoint-pistettä vastaava kohta [kuva 16]. Toiminto suoritetaan jokaiselle CamPoint-pisteelle yksitellen. Assign Position -toiminnon jälkeen on jäljellä enää kameran luonti. Kamera luodaan Camera Match -valikon Create Camera -painiketta painamalla. Tämän toiminnon jälkeen kamera on täsmätty ja C-kirjainta painamalla päästään kameranäkymään. [11.]



### 4.3 Virtuaalistudion elementit

3D-ohjelmassa kelvollista lopputulosta tavoiteltaessa pelkkä mallintaminen ja teksturointi ei yleensä riitä. Mallille on luotava asianmukaiset puitteet, jotta se pääsee oikeuksiinsa ja näyttää toivotulta. Puitteet, eli eräänlainen virtuaalistudio, voidaan toteuttaa vaivattomasti hyvin pitkälti samoja keinoja hyödyntäen kuin perinteisessä valokuvausstudiossa on tapana. Mikäli mallin halutaan esimerkiksi tuottavan varjoja, on mallin alle asetettava jonkinlainen taso. Tuotevisualisoijat suosivat todellisissa valokuvausstudiossa käytettävien alustojen virtuaalisia vastineita [kuva 18].



Kuva 18. Tuotevisualisoinneissa usein käytettyjä alustamalleja [10].

Varjojen tuottamisen lisäksi alusta vaikuttaa oleellisesti myös mallin saamaan valon määrään, sillä valonsäteet kimpoavat alustasta ja näin valaisevat mallia ja aiheuttavat sen pintaan mahdollisesti myös heijastuksia. Studioympäristö on tietysti myös valaistava. 3D-ohjelmat tarjoavat tätä varten suuren kirjon valoja kohde- ja hajavalosta aina päivänvalojärjestelmiin asti. Mikäli esineeseen toivotaan heijasteita, on studiossa tällöin oltava heijasteen tarjoava elementti tai elementtejä. Tällainen elementti voi olla esimerkiksi Mental Ray Sky Portal -elementti, valoa tarjoava 3D-objekti (jonka materiaali on säädetty itsevalaisevaksi) tai vaikkapa perinteisesti jokin valo. Eräs hyvin suosittu keino vivahteikkaan heijasteympäristön toteuttamiseksi ovat HDR-kuvat, jotka voidaan "kääriä" 3D-tilan ympärille antamaan heijasteita ja valoa joka suunnalta.

#### 4.4 Virtuaalistudion valaistus

Virtuaalistudion valaiseminen ei juurikaan poikkea todellisen studion valaisemisesta. Koska projektissa käytetty lopullinen valaisuratkaisu on nimenomaan studiotyyppinen, keskitytään tässä valaisua koskevassa osuudessa ainoastaan studio-valaisuun ja vielä erityisemmin tuotekuvauksessa käytettäviin valaisun keinoihin. Tekstissä viitataan useita kertoja valokuvaukseen, sillä tuotevalokuvauksen ja 3D:n keinoin tapahtuvan tuotevisualisoinnin tavoitteet ovat likipitään samat: päätavoitteina on esittää tuote mahdollisimman edustavasti ja myyvästi.

Studiovalokuvauksen ja muun valokuvauksen välinen suurin ero lienee se, että kaikki studiossa esiintyvä valo on luotava ”tyhjästä”. Tämä tekee studiovalokuvauksesta haasteellista. Valokuvaajan on ennakoitava mielessään valon käyttäytymistä kuvattavan kohteen pinnalla, ja tämän mielessä tapahtuvan visualisoinnin jälkeinen valaisun rakentamisvaihe erottaa studiovalokuvauksen selkeästi muista valokuvauksen alalajeista. Sama valaistuksen rakentamisprosessi on suoritettava myös 3D-ohjelmassa. Hyvän studiovalaisun aikaansaaminen vaatii melko paljon kokemusta, havainnointikykyä ja tietoa valon käyttäytymisestä. Keinotekoisien studio-valon tehokkaan ja johdonmukaisen käytön varmistamiseksi on syytä olla tietoinen valon käyttäytymisestä luonnossa. Luonnon päävalonlähde eli aurinko on hyvä esimerkki studiovalaisun ja erilaisten studiovalojen toiminnan ja ominaisuuksien ymmärtämiseksi. Kaksi auringonvalon tarjoamaa selkeästi toisistaan erotettavaa valaisun variaatiota ovat pilvettömältä taivaalta ja pilviseltä taivaalta sinkoavan auringonvalon erot. Pilvettömältä taivaalta paistava ”ehjä” auringonvalo luo kovaa valoa, voimakasta kontrastia ja terävänä piirtyviä varjoja. Pilvettömältä taivaalta paistavan auringonvalon vastine studiossa on näin ollen kohdevalo tai avoin salama. Pilvien hajottama auringonvalo taas luo pehmeää diffusoitunutta valoa, mietoa kontrastia ja pehmoisia varjoja. Pilvien hajottamaa auringonvaloa studioolosuhteissa imitoivat siis erilaiset tulvavalot ja ”softboxit” [kuva 19]. [13, s. 60.]



Kuva 19. Softbox-elementeillä varustettuja valaisimia ja todellisen maailman melko tarkka vastine projektissa käytetylle valaisuratkaisulle [14].

Nämä yksinkertaistetut valon käyttäytymiseen liittyvät tosiasiat on hyvä tiedostaa, jotta erityyppisten valaisimien ominaisuuksia pystyy tietoisesti hyödyntämään käytännön tasolla.

### Projektistudion valaisu

Projektissa oli tavoitteena tuottaa viitekuvien mukainen kevyen raikas tunnelma oikeanlaisen valaistuksen avulla. Tärkeässä osassa olivat useampia kuutioita sisältävissä asetelmissa kuutioiden toistensa päälle langettamat terävämmät heittovarjot. Studioalustaan lankeavilla varjoilla ei ollut merkitystä, sillä taustan varjoineen toteutti mainostoimisto. Valaistus oli haasteellinen työvaihe, ja se jouduttiinkin toteuttamaan useampaan kertaan oikean valaisukeinon löytämiseksi. Asiantuntemus eri valaisutavoista ja valaisun keinoista valaistuksen luomisvaiheessa oli melko puutteellista, ja valaisuvaihe olikin kokemuksena hyvin opettavainen.

Ensimmäisenä kokeiltiin epäsuoraa studiotyyppistä valaisua Skylight-elementin ja kahden Mental Ray Sky Portal -elementin avulla [15; 16]. Tässä ratkaisussa objektien pinnat toistuivat melko mukavasti, mutta terävät heittovarjot jäivät liian pehmeiksi, joten

tämä ratkaisu unohdettiin. Toinen kokeiltu valaisumenetelmä oli 3Ds Max -ohjelman päivänvalojärjestelmä (Daylight System). Sen avulla terävät heittovarjot pyrittiin toteuttamaan suoraan 3D-ohjelmasta käsin. Asiakkaan toimittamien viitekuvien epärealistisen, vain suuntaa antavan varjostuksen vuoksi heittovarjojen saaminen halutuille kohdille osoittautui melko hankalaksi toimenpiteeksi. Tämän ongelman lisäksi ensimmäisen valaisumenetelmän yleisilme valon ja varjojen kannalta oli huomattavasti parempi ja lähempänä toivottua tunnelmaa. Mainittujen menetelmien lisäksi kokeiltiin valaisua HDR-kuvan avulla. HDR-kuvan käyttö kumottiin asiakkaan pyynnöstä, sillä sen tarjoamat heijastukset olivat visuaaliseen ilmeeseen liian monimutkaisia. Lopulliseksi ratkaisuksi muodostui ensimmäisenä kokeillun studiotyyppisen valaisumenetelmän käyttö Direct Light -valolla höystettynä. Tarvittavat heittovarjot luotiin vasta jälkikäsitteilyvaiheessa.

#### 4.5 Projektissa kokeillut valojärjestelmät

##### Päivänvalojärjestelmä

3Ds Max -ohjelman päivänvalojärjestelmän (Daylight System) toiminta perustuu auringon kulusta kerätyyn informaatioon. Päivänvalojärjestelmää käytettäessä on mahdollista valita haluttu kaupunki, päivämäärä, kellonaika tai vaikkapa pilvisyyden aste. Nämä ominaisuudet luonnollisesti vaikuttavat auringon sijaintiin, -kulmaan, auringon antamaan väriin ja varjojen pehmeuteen ja pyrkivät simuloimaan auringon todellista käyttäytymistä 3D-ympäristössä. [17.]

##### HDR-kuvan käyttö valaistuksessa

HDR-kuva on laajan dynamiikka-alueen omaava valokuvatiedosto. HDR-kuva luodaan useimmiten yhdistämällä samasta kohteesta eri valotusarvoilla otetut kuvat jälkikäsitteilyoperaatiolla toisiinsa. HDR-kuvatiedostot ovat muun muassa .hdr- ja .exr-tiedostot. HDR-kuvaa 3D-ympäristön valaisuun käytettäessä HDR-kuva ”kääritään” 3D-ohjelman ympäristöksi ja asetetaan valaisemaan ympäristöä ja mahdollisesti tarjoamaan objekteihin myös heijastuksia. 3D-ohjelmat hyödyntävät HDR-kuvan laajaa dynamiikkaa valaistuksessa ja heijastuksissa, ja lopputulos on huomattavasti vivahteikkaampi kuin mitä tavallinen bittikarttakuva kykenee tarjoamaan. M-realin kansikuvan lopullista valaistusratkaisua haettaessa kokeiltiin myös HDR-kuvan käyttöä ympäristön valaistuksen ja heijastusten luomiseksi [kuva 20].



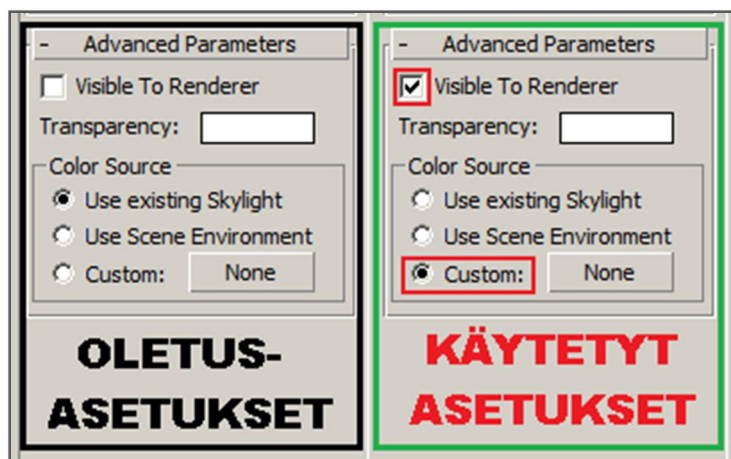
Kuva 20. HDR-ympäristön antamat heijastukset (vasen) ja lopullinen valaistusratkaisu (oikea).

HDR-versio käytettiin asiakkaalla asti, mutta se tyrmättiin liian monimutkaisten heijasteiden vuoksi. Lopullisen valaistusratkaisun ja HDR-kuvan välinen ero kuution pinnalta nähtävien heijasteiden määrässä ja yksityiskohdissa on melkoinen [kuva 20].

#### Mr Sky Portal -elementit ja Skylight-valo

Mr Sky Portal -elementit ovat suorakulmion muotoisia valo-ohjaimia. Niitä käytetään erityisesti sisätilarenderöinneissä tuomaan ulkovaloa geometrian aukkokohtista sisätiloihin. Elementit parantavat päivänvaloa vaativia renderöintejä usein huomattavasti ja mahdollistavat kevyempien Final Gather -asetusten käytön. Sisätilarenderöintien yhteydessä Mr Sky Portal -elementit asetetaan useimmiten käyttämään olemassa olevaa päivänvalojärjestelmää tai muuta ulkoympäristön valaisukeinoa ja ohjaamaan tätä valoa haluttuun suuntaan. Näin käytettyinä Sky Portal -elementit eivät itsessään tuota valoa vaan ainoastaan ohjaavat ja mahdollisesti voimistavat (mikäli niin säädetty) olemassa olevaa valoa. [18, s. 101–102.]

Vaikka Mr Sky Portal -elementtejä käytetään hyvin useasti juuri sisätilarenderöinneissä valo-ohjaimina, ne toimivat kuvan 21 mukaisesti asetuksia muuttamalla myös itsenäisinä laadukasta pehmeää valaistusta tuottavina aluevaloina [18, s. 103].



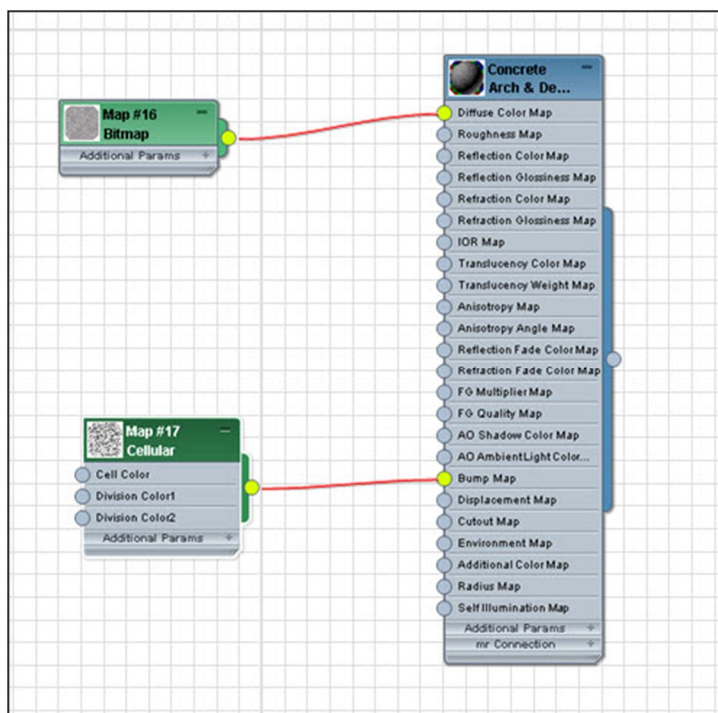
Kuva 21. Mr Sky Portal -elementin oletusasetuksia käyttämällä elementti ohjaa olemassa olevaa valoa. Projektissa käytetyt asetukset mahdollistivat Mr Sky Portal -elementtien toimimisen itsenäisinä pehmeää valoa tuottavina aluevaloina.

Tätä Mr Sky Portal -elementtien ominaisuutta hyödynnettiin projektin lopullisessa valaisuratkaisussa. Lopullisessa valaisuratkaisussa itsenäisinä valontuottajina toimivien Mr Sky Portal -elementtien avulla objekteihin luotiin voimakkaimmat valot ja täytevaloa tai yleisvaloa tuotettiin Skylight-valon avulla [15; 16]. Valaisuratkaisussa käytetty Skylight-valo on pehmeää, tasaisesti ympäristöä täyttävää valoa tuottava valonlähde. Skylight-valo voi sijaita missä tahansa kohdassa 3D-ympäristöä, koska se tuottaa tasaisesti saman määrän epäsuoraa valoa ympäristöönsä sijainnista riippumatta.

## 5 Teksturointi

### 5.1 Materiaalieditori ja materiaalit

Materiaalien luomista varten 3Ds Max -ohjelmassa on materiaalieditori, jonka avulla materiaalit luodaan ja materiaalien ominaisuudet määritellään. Projektissa käytetyssä 3Ds Max 2009 -versiossa ei uusimpien 3Ds Max -versioiden tapaan ole noodipohjaista materiaalieditoria. Noodipohjaisen materiaalieditorin suurin etu perinteiseen kompaktieditoriin verrattuna on sen tarjoama visuaalisuus, joka säästää etenkin tottumattoman käyttäjän päänsäivää ja turhasta valikkoseikkailusta aiheutuvaa ajanhukkaa. Materiaalien toiminnan hahmottamisen avuksi kuvassa 22 on esitelty noodipohjaisen materiaalieditorin näkymä. Kuvassa 22 rakentuu yksinkertainen betonimateriaali, joka muodostuu diffuusikanavaan kytketystä betonitekstuurista (Map #16) ja bump-kanavaan kytketystä proseduraalisesta solukotekstuurista (Map #17). Kompaktieditorin ja noodipohjaisen editorin välisistä visuaalisista ja käytettävyyttä koskevista eroista huolimatta editorien sisältö ja materiaalien luomisen periaate ovat identtiset ja vaihto näiden editorien välillä onnistuu napinpainalluksella.



Kuva 22. Uusi noodipohjainen "Slate"-materiaalieditori oli toivottu päivitys 3Ds Max -ohjelmaan [19].

3Ds Max -ohjelma tarjoaa kattavan materiaalivalikoiman. Osa materiaaleista, kuten projektissa käytetyt Arch & Design -materiaalit, on kehitetty erityisesti Mental Ray -

renderöintimoottorin kanssa toimiviksi. Renderöintimoottorikohtaiset materiaalit ovatkin yleinen ilmiö, ja niitä löytyy muun muassa Mental Ray-, Maxwell- ja Vray-renderöintimoottoreille. Olipa kyseessä minkä renderöintimoottorin tai 3D-ohjelman materiaali tahansa, materiaalin käyttäytymiseen ja ulkonäköön vaikuttavat mahdollisten edistyneempien ominaisuuksien lisäksi pitkälti samat säädettävissä olevat materiaalin perusominaisuudet:

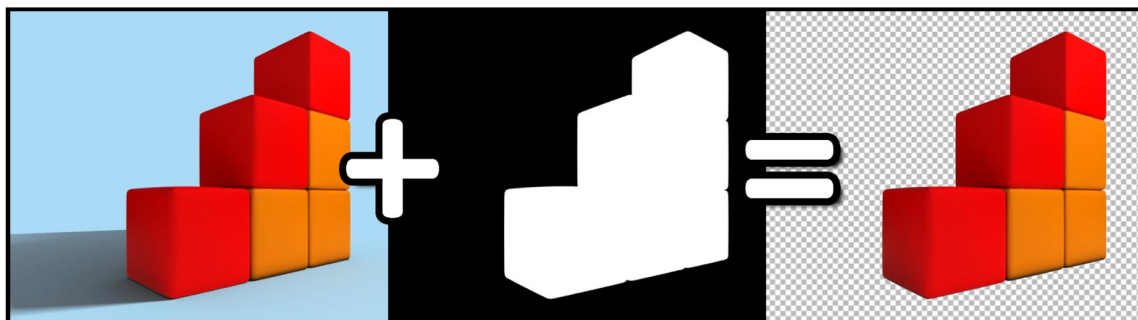
- materiaalin pääväri
- materiaalin väri epäsuoraa valoa kohdatessa
- materiaalin väri pinnan kirkkaimmissa kohdissa
- materiaalin läpinäkyvyys
- materiaalin itsevalaisemisominaisuudet
- materiaalin kiilto ja kiillon terävyys tai pehmeys
- materiaalissa käytetyt pintakartat [20, s. 34–35].

Materiaalin perusominaisuuksille syötetyillä asetuksilla on keskeinen rooli kullekin materiaalille luonteenomaista ilmettä haettaessa [20]. Perusominaisuudet määrittävätkin, onko materiaali mielletävissä esimerkiksi lasiksi, kiveksi tai vaikkapa harjatuksi alumiiniksi. Tiettyä materiaalia luotaessa on hyvä tarkastella todellisen maailman vastinetta luotavalle materiaalille, sillä tämän tarkastelun avulla suuri osa materiaalin todellisista ominaisuuksista hahmottuu selkeämmin [20]. Realismin kasvattaminen materiaalin avulla onkin mahdollista ainoastaan tapauksissa, joissa materiaali vastaa todellisen maailman esikuvaansa mahdollisimman uskottavasti [20]. Näistä syistä 3D:n parissa työskentelevä henkilö ajautuu ennemmin tai myöhemmin tarkastelemaan ympäröivää maailmaa aivan uudella tavalla.

Projektissa käytettiin objektien pintaa kuvaavien Arch & Design -materiaalien lisäksi muutamia erikoismateriaaleja, kuten Matte/Shadow/Reflection- ja Multi/Sub-Object-materiaaleja. Matte/Shadow/Reflection -materiaalia käytettiin studioalustassa. Nimensä mukaisesti se voidaan haluttaessa määrittää vastaanottamaan objekteilta muun muassa varjoja, heijastuksia ja epäsuoraa valaistusta. Matte/Shadow/Reflection-materiaalin "matte"-ominaisuus mahdollistaa esimerkiksi pelkkien varjojen renderöinnin Matte/Shadow/Reflection-objektin pinnalta. Tämän ominaisuuden hyödyntäminen voi tulla kyseeseen esimerkiksi erilaisissa valokuva- tai videotuotannoissa, joissa 3D-malli var-



joinen on tarkoitus upottaa still-kuvaan tai videomateriaaliin. Projektin yhteydessä Matte/Shadow/Reflection-materiaalia käytettiin taustan poistamiseen luodun alfa-maskin avulla [kuva 23].



Kuva 23. Taustalle määritellyn Matte/Shadow/Reflection-materiaalin avulla alfa-maskin luominen ja taustan poisto jälkikäsittelyvaiheessa on yksinkertainen toimenpide.

## 5.2 Tekstuurit

Tekstuurit ovat kaksiulotteisia kuvia, jotka asetetaan materiaalin ominaisuutena 3D-mallin pinnalle. Tekstuurilla on tärkeä tehtävä 3D-mallin luonteen määrittämisessä, sillä se useimmiten kertoo, mistä materiaalista 3D-malli on tehty. Pelkkä tasainen väripinta ei usein riitä tunnistettavan materiaalin luomiseen, vaan materiaalin tuntua tavoiteltaessa on pinta toteutettava tekstuurien avulla [kuva 24].



Kuva 24. Laadukkaat tekstuurit ovat tärkeä askel kohti fotorealismia.

Sen lisäksi, että materiaali saa tekstuurin avulla sille ominaisen perusluonteensa, voidaan laadukkailla yksityiskohtaisilla tekstuureilla maustaa materiaaleja hyvinkin foto-

realistisiksi. 3D-grafiikan ongelmana on usein liiallinen klinisyys, josta yleensä pääsee eroon harkituilla tekstuurivalinnoilla. [21, s. 3.]

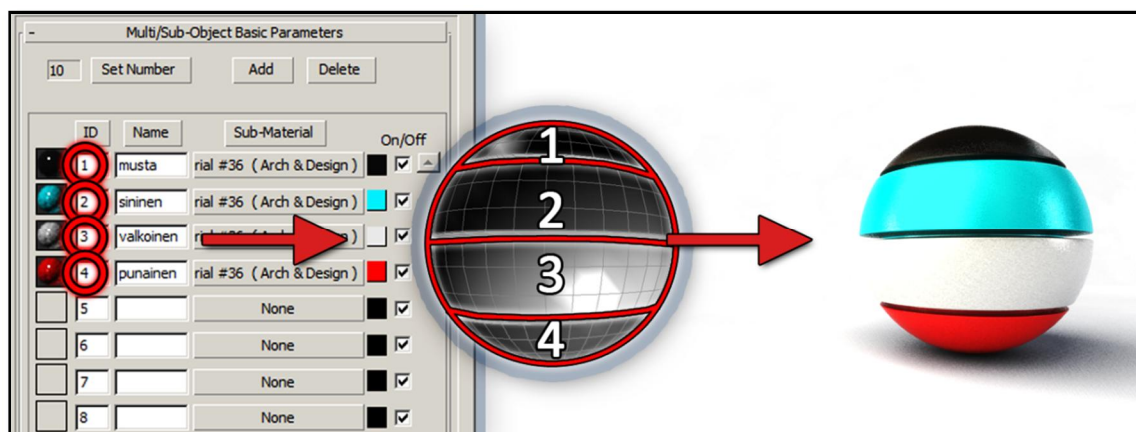
### 5.3 Arch & Design -materiaali

Arch & Design -materiaali on yhtenäinen, erityisesti arkkitehtonista ja tuotesuunnittelua silmälläpitäen suunniteltu fysikaalisesti tarkka Mental Ray materiaalishaderi. Se tukee yleisimpiä kovapintaisia materiaaleja, kuten lasia, metallia ja puuta. Erityisen tehokas se on kiiltäväpintaisten heijastusten, valon taittumisen ja korkealaatuisen lasin tuottamisessa. Arch & Design -shaderi tarjoaa lukuisia esiasetettuja materiaalivaihto-ehtoja, joiden pohjalta halutun materiaalin synnyttäminen on tehty mahdollisimman helpoksi ja suoraviivaiseksi. Nopean käytön takaamiseksi materiaalin säätöparametrit on järjestetty ”käytetyimmät ensin” -periaatteella. [22.]

Projektin jokainen pintamateriaali luotiin Arch & Design -materiaalishaderin pohjalta valmiita esiasetuksia käyttäen. Valituille esiasetetuille materiaaleille lisättiin tapauskohtaisesti bittikarttakuvia tai proseduraalisia tekstuureja riippuen siitä, mitä materiaalia kulloinkin oltiin luomassa. Materiaalin luomisprosessi käsitellään luvussa 5.6.

### 5.4 Multi/Sub-object-materiaali

Multi/Sub-object-materiaalin avulla yhdelle objektille on kuvan 25 mukaisesti mahdollista määritellä useita eri materiaaleja.



Kuva 25. Multi/Sub-Object-materiaalin toimintaperiaate.

Multi/Sub-object-materiaali asetetaan halutulle objektille minkä tahansa materiaalin tavoin joko raahamalla se objektin päälle tai objektin aktivoinnin jälkeen materiaali-

torin "Assign Material" -toiminnolla. Varsinainen sub-tason materiaalivalinta tehdään määrittelemällä objektista valitulle pinnan kohdalle halutun materiaalin mukainen materiaalitunnus [kuva 25].

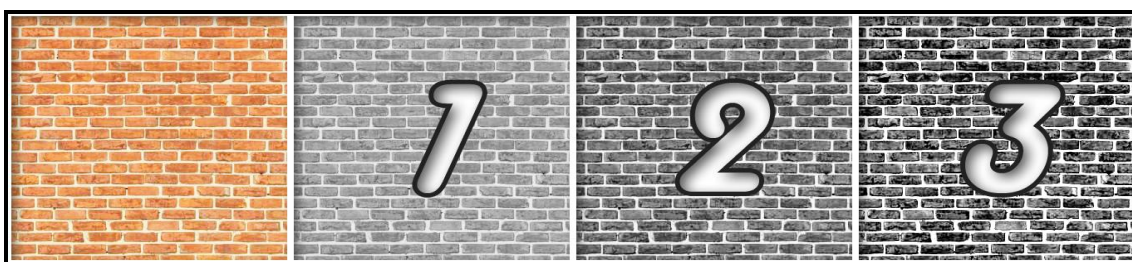
### 5.5 Käytetyt karttatyypit ja kartan muokkaus

Valtaosa lopullisista luoduista materiaaleista vaati diffuusikartan tai värin lisäksi proseduraalisia karttoja ja/tai tekstuurikarttoja riittävän fotorealistisen tunnun saavuttamiseksi. Tärkeimmät käytetyt karttatyypit olivat diffuse-, bump-, reflection-, noise- ja mix-kartat, ja jokainen käytetyistä kartoista vaikutti objektin pinnan käyttäytymiseen omalla tavallaan. Laskentatehon säästösyistä displacement-karttaa käytettiin hyvin vähän.

Materiaalin diffuusikanavaan voidaan liittää oikeastaan mikä tahansa haluttu väri, bittikarttakuva tai proseduraalinen kartta. Diffuusikartta yleensä antaa materiaalille sen pohjavärin. Hyvä diffuusikartta on tasaisesti valaistu, eikä siinä tulisi esiintyä voimakkaita suunnattuja valoeffektejä, sillä tämä aiheuttaa ongelmia etenkin epätasaisuutta luovien ja heijastekarttojen samanaikaisen käytön yhteydessä. [23.]

Bump-kartat luovat materiaalin pintaan illuusion pinnan epätasaisuudesta valon ja varjon avulla ilman todellisia geometriamuunnoksia. Bump-kartan luonti esimerkiksi tiili-seinää esittävästä värikuvasta on varsin yksinkertainen toimenpide [kuva 26]. Mikäli kuvan 26 kolmannen säätövaiheen karttaa käytettäisiin bump-karttana, muodostuisi objektin pinnalle tiilikuvio, jonka saumakohdat näyttäisivät kohoavan ulospäin. Tämä virhe voidaan korjata säätämällä harmaasävykuva käänteiseksi. Toimenpide voidaan tehdä kuvankäsittelyohjelmassa, mutta se onnistuu myös 3Ds Max -ohjelmassa varsin vaivattomasti tekstuurin ominaisuuksista löytyvän invert-valitsimen aktivoinnilla. 3D-ohjelma tarkkailee bump-karttaa käsitellessään kuvan intensiteettejä, eli tummia ja vaaleita arvoja. Jotta bump-kartta toimisi mahdollisimman tehokkaasti, on kuvan histogrammi venytettävä siten, että myös tummimmat ja vaaleimmat arvot tulevat käyttöön. Vaaleat arvot 3D-ohjelma ymmärtää kohoumina, kun taas tummemmat arvot luovat painaumuksia. Kuvankäsittelyohjelmassa prosessin kulku on useimmiten kuvan 26 mukainen:

1. kuvan muuntaminen harmaasävykuvaksi
2. normalisointi (histogrammin venytys)
3. kontrastin maksimointi
4. mahdollisesti kuvan bittisyyden kasvattaminen (vähentää artefakteja ja harmaasävyliukujen porrastumista)
5. kuvan sumentaminen tarvittaessa (poistaa harmaasävyliukujen porrastuneisuuden). [24.]

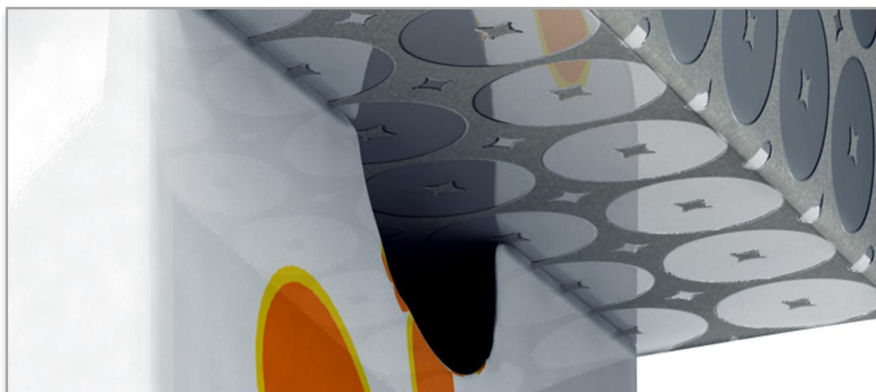


Kuva 26. Bump-kartan luomisprosessi.

Muun muassa bump-, normal- ja specular-karttojen luomisen helpottamiseksi on kehitetty prosessia nopeuttavia erillisiä ohjelmia, kuten CrazyBump ja ShaderMap.

Displacement-kartta on harmaasävykartta, joka eroaa bump-kartasta siinä, että se luo objektin pintaan todellisia geometriamuunnoksia. Displacement-karttaa käytettäessä on kuitenkin syytä olla varovainen, sillä sen luoman geometrian renderöinti on useimmiten huomattavan raskasta. Projektissa displacement-karttaa käytettiin ainoastaan Met-säiliön kaarnakuution kaarnan luomiseen [kuva 2].

Mikäli kappaleen pinnasta halutaan kauttaaltaan kiiltävä tai kauttaaltaan matta, ei reflection-karttaa tarvita. Tilanteessa, jossa saman tekstuurin pinnalle halutaan kaksi tai useampia eri voimakkuuksilla heijastavaa pintaa, on kätevää käyttää reflection-karttaa [kuva 27].



Kuva 27. Reflection-kartan vaikutus materiaalin heijastusominaisuuksiin on selkeästi nähtävissä.

Mix-kartan avulla kaksi materiaalin komponenttia voidaan sulauttaa yhdeksi ja säätää niiden välistä suhdetta halutuksi. Mix-karttoja voidaan ketjuttaa, jolloin materiaali-komponenttien määrä ei enää rajoitu kahteen. Mix-karttaa käytettiin projektin aikana muun muassa sellumateriaalin valmistuksessa, jossa useita kaavamaisia tekstuureja sulautettiin toisiinsa [kuva 5].

## 5.6 Materiaalin luonti

Materiaalin luontivaihe on materiaalista riippuen joko hyvin nopeaa tai melko hidasta. Projektia varten luotavien materiaalien kirjo oli melkoisen laaja männyn kaarnasta ja kertopuusta aina foliopintaan ja kiiltäviin pahvipakkauksiin. Projektin aikana käytiin siis läpi eräänlainen puunjalostusprosessi. Esimerkiksi materiaalin luomistyöstä nostetaan wc-paperi, jonka muovaaminen oli varsin mielenkiintoista ja haastavaa. Asiakkaan toiveena oli Lambi-kuvioitu pystyreunoiltaan vahvasti pyöristetty wc-paperikuutio. Materiaalia lähdettiin toteuttamaan Arch & Design -mattaesiasetuksen pohjalta. Toteutusprosessin alkuvaiheessa diffuusikartan käyttö oli varsin yliampuvaa eikä lopputulos miellyttänyt silmää. Konkreettisen wc-paperin hypistelyn ja tarkastelun lomassa oikea toteutustapa hahmottui ja jälki näytti diffuusikanavan tekstuurien säädön jälkeen hyvältä [kuva 28].

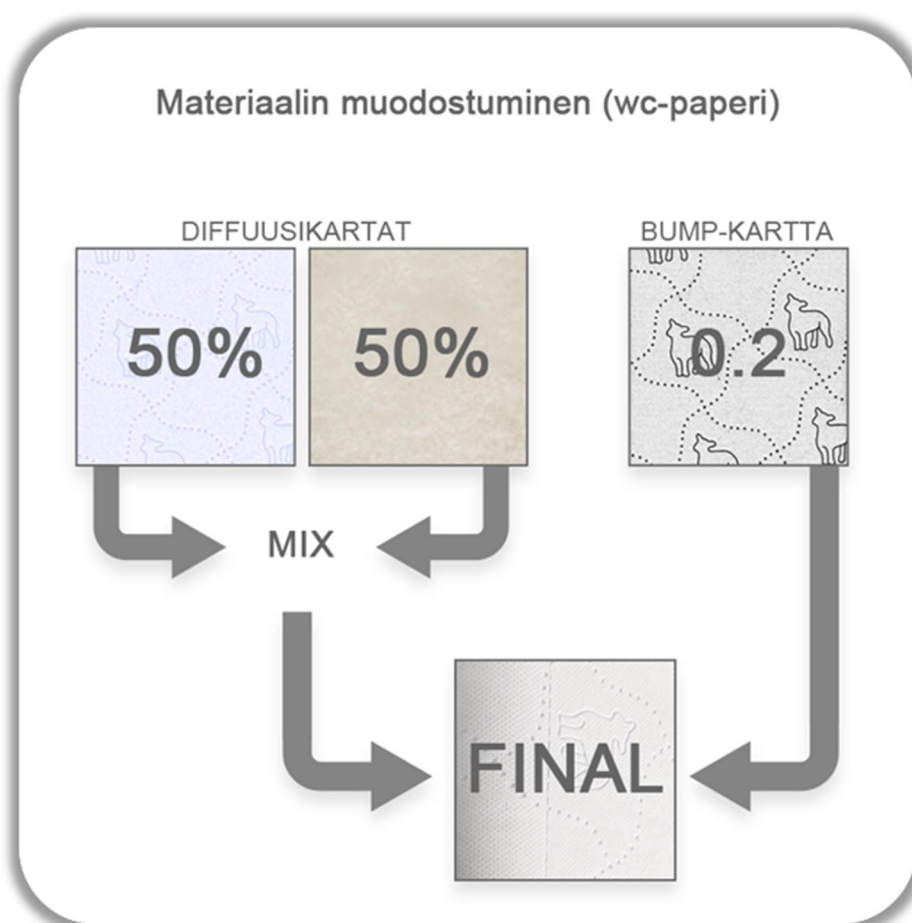


Kuva 28. Lopullinen wc-paperikuutio pinnoitettiin sylinterimuotoista UVW Map -modifikaattoria apuna käyttäen.

Hennosti sinertävän wc-paperitekstuurin ja pientä epätäydellisyyttä luovan likaisen paperitekstuurin sulauttaminen Mix-kartan avulla diffuusikanavaan toimi hyvin [kuva 29]. Tärkein kartta materiaalin synnyttämisessä oli kuitenkin kuvasta 29 havaittava bump-kartta sopivalla voimakkuusarvolla. Wc-paperimateriaalin tärkeimmät asetukset olivat seuraavanlaiset:

- Arch & Design Matte Finish -template
- Roughness arvo: 1 (maksimi)
- Self-Illumination aktivoituna (Kelvin-arvo 6500 ja luminanssin Physical Units - arvo  $40 \text{ cd/m}^2$ )
- bump-kartan voimakkuus 0,2.





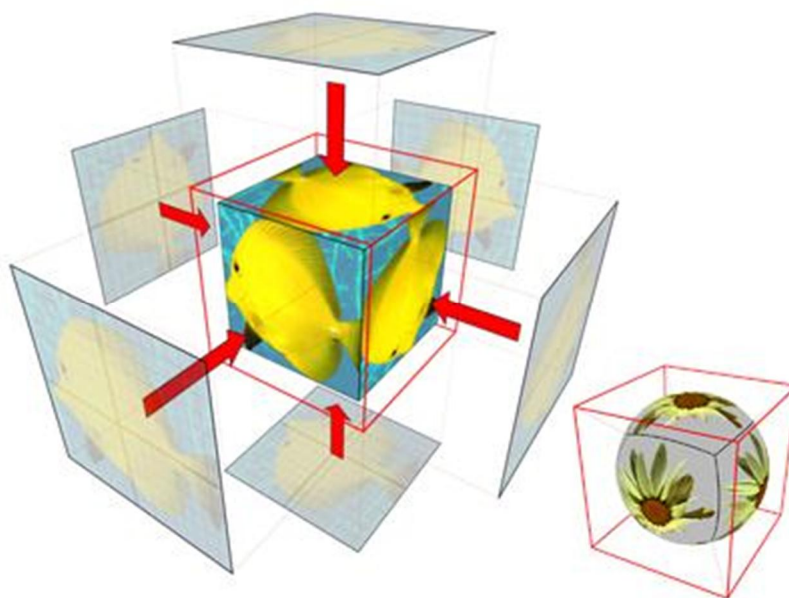
Kuva 29. Wc-paperimateriaalin muodostumisprosessi yksinkertaistettuna.

Tärkeitä tekijöitä paperimaisuuden luonnissa olivat myös Roughness-arvon maksimointi ja itsevalaisemisominaisuuden (Self Illumination) aktivoiminen. Roughness-arvon maksimoinnilla simuloidaan karheaa materiaalia, jollaista wc-paperi todellisuudessa on, ja Self Illumination -ominaisuuden avulla pyritään simuloimaan valon todellista käyttäytymistä vaalean wc-paperin pinnalla.

### 5.7 Materiaalin asettaminen UVW Map -modifikaattorin avulla

UVW Map -modifikaattorin avulla materiaalin asettelu geometrisesti yksinkertaisen objektin pinnalle on helppo ja nopea toimenpide. Materiaali asettuu objektin pinnalle modifikaattorin laskemien kartoituskoordinaattien perusteella [25]. UVW Map -modifikaattorin käyttämä UVW-koordinaatisto on yhtäläinen XYZ-koordinaatiston kanssa, joten U-akseli vastaa X-akselia, V-akseli Y-akselia ja W-akseli Z-akselia [25]. UVW Map -modifikaattoria käytettäessä objektille määritellään kartoituskoordinaatit, joiden avulla materiaali kääritään objektin ympärille modifikaattorin asetuksista valitun geo-

metrisen muodon perusteella [26, s. 12]. Valittavia muotoja ovat muun muassa sylinteri-, pallo- ja laatikkomuodot. Esimerkiksi laatikkomuotoa käytettäessä materiaali asetetaan objektin pinnalle kuudelta sivulta kuvan 30 mukaisesti, jokainen sivu omana tasonaan.



Kuva 30. Laatikkoprojektio kuution ja pallon pinnalle asetettuna [25].

Objektin geometrialla on suuri vaikutus materiaalin lopulliseen asettumiseen sen pinnalle, kuten kuvasta 30 voidaan havaita. UVW Map -modifikaattori tarjoaa myös useita muita säätömahdollisuuksia, jotka mahdollistavat esimerkiksi materiaalin skaalaamisen, kohdentamisen ja pyörittelyn objektin pinnalla.

Projektin yhteydessä suoritettuihin teksturointitöihin UVW Map -modifikaattorin ominaisuudet riittivät mainiosti. Koska kaikki mallinnetut objektit olivat kuutioita, käytettiin projektissa UVW Map -modifikaattorin muotona tapauskohtaisesti joko laatikkomuotoa tai tasomuotoa. Ainoan poikkeuksen muodon valintaan toi sylinterimuotoa lähentelevä wc-paperikuutio, jolle materiaali asetettiin sylinterimuotoa modifikaattorissa käyttäen.



## 6 Renderöinti ja Mental Ray -renderöintimoottori

Renderöinti on vaihe, jossa 3D-ohjelman näkymä muunnetaan kaksiulotteiseksi pikseli-grafiikaksi. Renderöinti on useimmiten melko hidas toimenpide ja vaatii koneelta paljon tehoa. Tunnettuja renderöintimoottoreita ovat muun muassa Mental Ray, Vray, Maxwell ja Brazil. Osa renderöintimoottoreista on valmiiksi integroitu osaksi 3D-ohjelmaa, esimerkkinä 3Ds Max ja siihen integroitu Mental Ray [27, s. 3]. Jokaista renderöintilannetta varten tapauskohtaisesti oikein valituilla renderöintiasetuksilla voidaan säästää paljon aikaa ilman huomattavaa laadun heikkenemistä. Luonnosvaiheessa on syytä välttää tuotantoasteen renderöintiasetuksia, sillä pienikin muutos asetuksissa voi kasvattaa renderöintiin käytettävää aikaa huomattavasti.

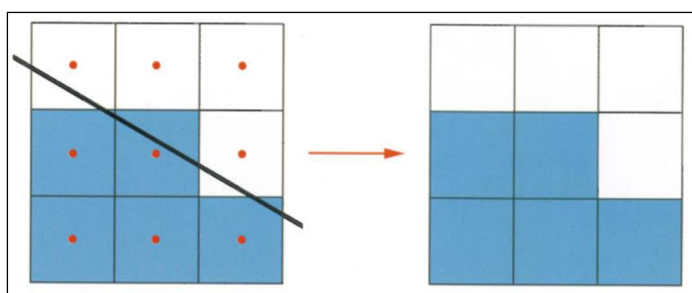
### 6.1 Mental Ray -renderöintimoottori

Mental Ray on 3Ds Max -ohjelmaan integroitu tuotantotasoinen saksalaisen Mental Images -yhtiön kehittämä renderöintimoottori [28]. Se on kehitetty erityisesti fysikaalisesti tarkkoja renderöintejä silmällä pitäen. Mental Rayn ominaisuuksiin kuuluvat muun muassa säteenjäljitystekniikat, fysikaalisesti todenmukainen globaali valaistus fotonikarttoineen, Final Gather, kaustiikka ja mukautuva näytteenotto. Mental Ray -renderöintimoottoria käytettiin projektin jokaisessa renderöinnissä, ja sen perusominaisuudet tulivat projektin edetessä melko tutuiksi. Mental Rayn monimutkaisuuden vuoksi sen syvällinen ymmärrys vaatii kärsivällistä opettelua ja runsaasti aikaa.

#### Näytteenotto (Image Sampling)

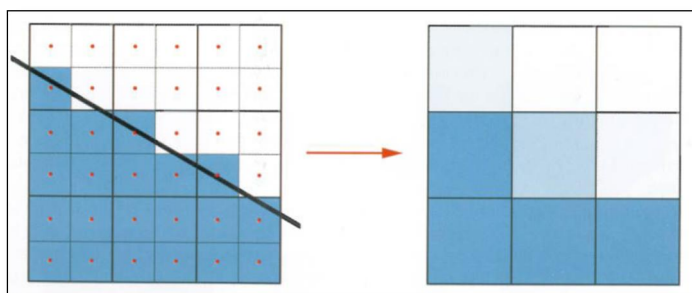
Näytteenoton avulla yhtä pikseliä kohden voidaan ottaa useampia näytteitä renderöitävän kuvan laadun parantamiseksi. Näytteenotto lasketaan renderöintivaiheessa, ja sen avulla voidaan parantaa reunanpehmenystä ja kuvan yksityiskohtia. Vaikka menetelmällä kyetään yhtä pikseliä kohden ottamaan lukuisia näytteitä, ei pikselien lukumäärä todellisuudessa kasva yhdelläkään pikselillä. Menetelmän hienous on siinä, että sen avulla jokainen pikseli voidaan laskea useaan kertaan, jolloin lopullinen pikselin väri määräytyy parhaalla mahdollisella tavalla ja näin parantaa kuvan laatua ja ehkäisee mahdollisia virheitä, kuten laskostumista tai porrastuneita reunoja. [29, s. 2.]

Kuvaesimerkeissä pikselimatriisiin halkaiseva musta viiva kuvastaa 3D-ohjelmassa mallinnetun kuution reunaa, valkoinen alue kuvastaa 3D-ympäristön tyhjää taustaa ja sininen alue kuvastaa sinistä kuutio-objektia [kuvat 31–33]. Jokaisessa kuvaesimerkissä on yhteensä yhdeksästä pikselistä koostuva pikselimatriisi. Vasemmanpuoleisessa matriisissa havaittavat pienemmät neliöt (punainen piste keskellä) kuvastavat kulloisenkin näytteenottoprosessin tarkkuuden mukaista määrää näytepisteitä. Oikeanpuoleisesta matriisista on nähtävissä kunkin pikselin lopullisen sävyn määräytyminen kulloisenkin näytteenottotarkkuuden perusteella. Kuvasta 31 havaitaan selvästi näytteenottotarkkuuden toimintaperiaate ja vaikutus reunapehmennyksen laatuun.



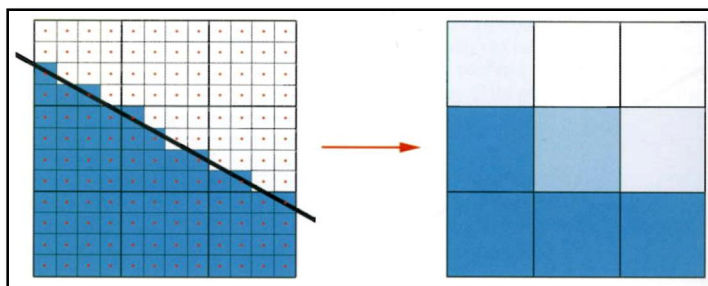
Kuva 31. Näytteenottotarkkuus 1 näyte/pikseli ja pikseleiden lopulliset sävyt [29, s. 3].

Kun kutakin pikseliä kohden otetaan neljä näytettä, määräytyy pikselin lopullinen värin perusteella, kuinka moni näytepisteistä "törmää" kuutioon. Matriisin vasemman ylä-kulman pikselissä yksi neljästä näytteenottopisteestä osuu siniseen kuutioon [kuva 32].



Kuva 32. Näytteenottotarkkuus 4 näytettä/pikseli ja pikseleiden lopulliset sävyt [29, s. 3].

Näin ollen pikseli saa lopulliseksi sävykseen  $\frac{1}{4}$  alkuperäisestä sinisen sävystä. Näytteenottotarkkuuden ollessa 16 näytettä per pikseli näytteenoton toimintaperiaate on kuvan 32 mukainen, mutta suuremman näytteenottotarkkuuden ansiosta lopullinen pikselin sävy toistuu tarkemmin ja parantaa reunapehmennyksen laatua [kuva 33].



Kuva 33. Näytteenottotarkkuus 16 näytettä/pikseli ja pikseleiden lopulliset sävyt [29, s. 4].

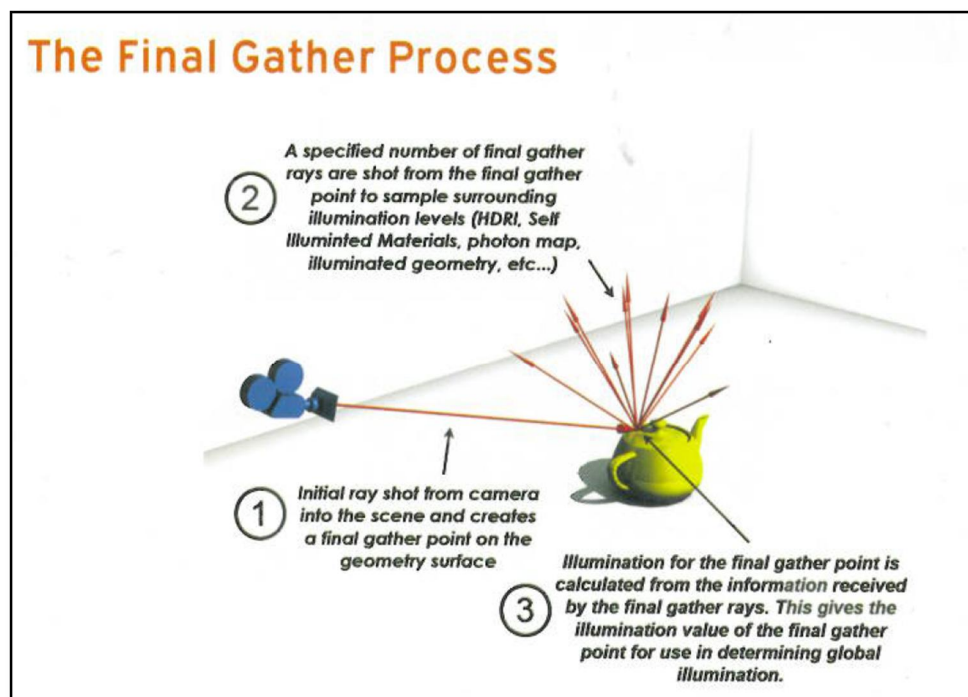
Yksinkertaisuuden vuoksi esimerkissä kuvataan "Fast Rasterizer" -näytteenottotapaa, joka ottaa näytteensä aina pikselin tai näytteenottopisteen keskeltä. Monimutkaisemmat näytteenottomenetelmät perustuvat samaan periaatteeseen. [29, s. 2–4.]

Mental Rayn näytteenoton tehokkuus perustuu sen mukautumiskykyyn. Yhden näytteenottoarvon sijasta voidaan näytteenotolle asettaa minimi- ja maksimiarvot. Tällöin Mental Ray käyttää maksimiarvoa tarkkuutta vaativissa kohdissa, kuten reunoja pehmentäessään, ja minimiarvoa vähemmän tarkkuutta vaativissa kohdissa, kuten laajoilla tasaisilla pinnoilla. Mukautuvan näytteenoton avulla laskentatehoa säästetään siis merkittävästi laadukkaitakin renderöintejä tuotettaessa.

#### Epäsuoran valaistuksen menetelmät

##### Final Gather

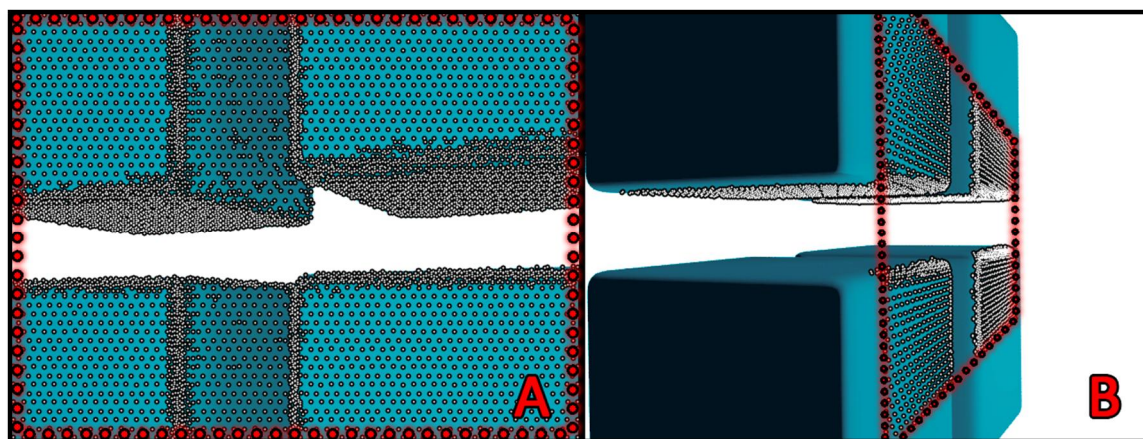
Final Gather -tekniikkaa voidaan tavallaan pitää fotonikartoituksen vastakohtana. Sen sijaan, että ympäristöön ammuttaisiin fotoneja valonlähteestä, ympäristöön ammutut säteet lähtevät kuvan 34 mukaisesti kamerasta ja laskevat valaistuksen ja ympäristön yhteisvaikutuksen objektin pintaan.



Kuva 34. Final Gather -menetelmän toimintaperiaate [30, s. 8].

Final Gather -pisteet kykenevät poimimaan valaistusinformaatiota muun muassa HDR-kuvista, itsevalaisevista materiaaleista, fotonikartoista ja valoilla valaistuista alueista. Kamerasta ammutun yksittäisen Final Gather -alkusäteen saavutettua geometrian pinnalla sijaitsevan Final Gather -pisteensä se tuottaa ennalta määrätyn lukumäärän Final Gather -säteitä, jotka ottavat näytteitä ympäröivän valaistuksen tasosta. Geometrisen pinnan yksittäiselle pisteelle ammuttu Final Gather -piste saa valaistusarvonsa näin ollen Final Gather -säteiden tuottamasta informaatiosta. Final Gather -pisteiltä saatuja valaistuksen arvoja käytetään epäsuoran valaistuksen määrittämiseen. Toisin kuin fotonikartoitus, Final Gather -menetelmä on riippuvainen aktiivisena olevasta näkymästä. Tämä tarkoittaa sitä, että Final Gather -kartta on tuotettava joka kerta uudestaan, mikäli näkymää muutetaan. Animaation kohdalla tämä tarkoittaisi Final Gather -kartan laskemista jokaiselle kuvalle erikseen, mikä taas pidentäisi animaation renderöintiäikää huomattavasti. Animaatiota ja Final Gather -tekniikkaa yhdistettäessä onkin syytä perehtyä Final Gather -karttojen tallennukseen ja uudelleenkäyttöön kuvan välkkymisen estämiseksi ja ajan säästämiseksi. [30, s. 8–19.]

Final Gatherin näkymästä riippuvaisen laskentamenetelmän suurin hyöty on suorituskyvyn säästäminen renderöitäessä. Koska Final Gather -pisteitä ammutaan kamerasta käsin, pisteitä tuotetaan ainoastaan pinnoille, jotka ovat kamerasta nähtävissä. Kuvasta 35 nähtävä Final Gather -pisteistä koostuva matriisi havainnollistaa pisteiden näkymäriippuvaista asettelua selkeästi. Kuvan 35 A-osio ilmentää alkuperäistä näkymää, jossa pisteet asettuvat kuva-alan päälle verkkomaisena matriisina, ja B-osiossa kuvakulmaa on muutettu ilman Final Gather -kartan uudelleenluontia, jolloin havaitaan geometrian vaikutus pisteiden sijoitteluun ja kameran katvealueet. [31, s. 561.]



Kuva 35. Näkymässä A luotu Final Gather -kartta Final Gather -pisteineen ja kuvakulman vaihto (B) ilman Final Gather -kartan uudelleenluontia havainnollistaa Final Gather -kartan näkymäriippuvaista rakentumista selkeästi [31, s. 561].

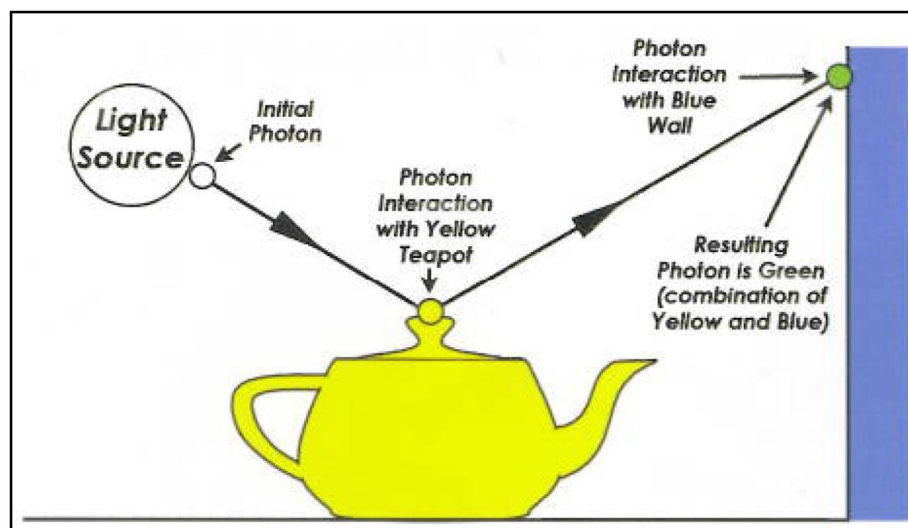
Projektin yhteydessä käytettiin valmiita Final Gather -esiasetuksia. Final Gatherin käytön helpottamiseksi on tarjolla viisi valmista esiasetusta (Draft, Low, Medium, High ja Very High), joista projektissa käytettiin tilanteen mukaan taulukosta 1 nähtäviä vaihtoehtoja.

Taulukko 1. Projektissa käytetyt pääpiirteiset renderöintiasetukset luonnos- ja tuotantotason kuville.

LAATU	Resoluutio	Näytteenottotarkkuus	Final Gather -esiasetus	Render Elements -tasot
LUONNOS	5–20 % tuotanto-asetuksista	minimi ¼, maksimi 4	luonnos (draft)	ei
TUOTANTO	A3 (3507 x 4960)	minimi 1, maksimi 16	matala (low) ja keskitaso (medium)	alpha

## Fotonikartoitus (Global Illumination)

Global Illumination -menetelmän avulla tuotetaan fotonikarttoja. Menetelmää ei projektissa hyödynnetty, mutta sen läpikäyminen on menetelmän tärkeyden nojalla aiheellista. Fotonikartoilla pyritään simuloimaan todellisessa maailmassa tapahtuvaa valon ja sen yksittäisten hiukkasten eli fotonien käyttäytymistä. Kuten todellisen maailman valo, myös fotonikartat koostuvat yksittäisistä fotoneista. Suurin ero näiden välillä on se, että 3Ds Max -ohjelmassa fotonien määrää, energiaa ja muita asetuksia on mahdollista kontrolloida Global Illumination -säätöjen avulla. Final Gather -menetelmästä poiketen fotoni aloittaa matkansa valonlähteestä. Fotonin törmätessä geometriaan tapahtuu vuorovaikutus, joka on pitkälti riippuvainen kohdemateriaalin ominaisuuksista [kuva 36]. Fotonin ja geometrian keskinäisen vuorovaikutuksen takia fotoni menettää energiansa ja "värjäytyy" kohdatun materiaalin mukaisesti. Värjäytymisilmiössä kohdattu materiaali todellisuudessa pidättää osan fotonin aallonpituuksista, jolloin fotoni ilmenee pinnan värisenä. Mikäli fotoni jatkaa matkaansa ja kohtaa toisen materiaalin, ilmenee tämän geometrian pinnalla ensimmäisen ja toisen materiaalin värien yhdistelmä. Tätä ilmiötä kutsutaan värivuodoksi (color bleeding), joka on myös todellisessa maailmassa havaittava ilmiö. [30, s. 1–2.]



Kuva 36. Fotonin "värjäytyminen" [30, s. 2].

Global Illumination -tekniikkaa käytetään erityisesti sisätilarenderöinneissä. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että ulkotiloissa, joissa ei ole seiniä tai muita tilaa sulkevia elementtejä, suurin osa fotoneista karkaa jo ensimmäisen tai toisen kimpoamisen jälkeen [30, s. 8]. Tämän vuoksi projektin yhteydessä ei käytetty Global Illumination -menetelmää.

Vaikka fotonikartoitusta ja Final Gather -menetelmää voidaan käyttää itsenäisinä epäsuoran valaistuksen tuottajina, saattaa menetelmien yhdistäminen tietyissä tapauksissa olla varteenotettava vaihtoehto. Fotonikartoituksen ja Final Gather -menetelmän yhdistelmää käytettäessä laskentajärjestys on aina sama: ensin lasketaan fotonikartta ja tämän jälkeen Final Gather -kartta. Laskentajärjestys on tämä, koska Final Gather -prosessissa hyödynnetään ensimmäisenä lasketun fotonikartan tuottamaa informaatiota. Perusteluita yhdistelmäkäytölle ovat muun muassa kokonaisvaltaisesti parempi valaistus ja oikein optimoitu renderöintiajan pieneneminen. Yhdistelmän toiminta käytännössä perustuu siihen, että fotonikartoitus sumuttaa epäsuoraa valaistusta ympäristössä esiintyvien valojen pohjalta, minkä jälkeen Final Gather hyödyntää luotua fotonikarttaa laskiessaan globaalia valaistusta. Final Gatherin ansiosta fotonikartoituksen asetukset voidaan pitää hyvinkin paljon matalampina ja renderöintiajan säästö on tällöin merkittävä. [30, s. 19.]

### Ambient Occlusion

Ambient Occlusion -tekniikan avulla jäljitellään epäsuoran valaistuksen tuottamaa tulosta. Se ei kuitenkaan ole valaistuksen laskentamalli kuten Final Gather tai Global Illumination, vaan se on pehmeää varjostusta tuottava varjostinmateriaali. Ambient Occlusion -tekniikassa kameraan näkyviltä geometrisiltä pisteiltä lähetetään satunnaisesti säteitä geometrian normaalin suuntaan. Näiden säteiden tehtävänä on tutkia ympäröivän geometrian etäisyyttä säteen lähtöpisteeseen. Geometriaa löydettyä ympäristöä varjostetaan säteen löytämän geometrian ja lähtöpisteen välisen etäisyyden perusteella. Ambient Occlusion -tekniikkaa käytetään useimmiten päävalaistuksen tukena geometrinen yksityiskohtien esille tuomisessa. Ambient Occlusion -tekniikka voidaan yhdistää esimerkiksi Final Gather -menetelmän kanssa. [32, s. 11.]

## 6.2 Renderöintiasetusten valitseminen

Renderöintiasetusten valinta määräytyy tuotettavan materiaalin perusteella. On hyvin eri asia renderöidä yksi still-kuva kuin satoja kuvia animaatiota varten. Ei ole tarkoituksenmukaista käyttää animaatiota varten tuotettavien kuvien renderöintiin yksittäisen fotorealismia tavoittelevan still-kuvan renderöintiasetuksia, koska fotorealistisen kuvan renderöinti voi renderöintiasetuksista riippuen viedä useita tunteja. Mikäli näitä asetuksia käytettäisiin vähänkään pidemmän animaation tuottamiseen, olisi kyseessä todella pitkä renderöintiprosessi. Tähän on tietenkin suhteutettava käytettävän koneen suorituskyky. Myös ennen renderöintivaihetta tapahtuvassa 3D-tuotantoprosessissa (mallintaminen, valaisu ja teksturointi) tehtyjen valintojen vaikutus renderöintiaikaan on hyvä tiedostaa. Yksittäisen kuvan tapauksessa mallinnus-, valaisu- ja teksturointivaiheessa on mahdollista käyttää huomattavasti tarkempaa geometriaa, monimutkaisempia valaistusratkaisuja, monitasoisempia tekstuureja ja säteenjäljityksen useita tasoja. Renderöintiasetuksia valittaessa on oltava realistinen ja löydettävä tasa-paino käytettävien renderöintiasetutusten ja laitteiston suorituskyvyn välillä. [33, s. 176–177.] Tärkeimmät renderöintiaikaan vaikuttavat renderöintiasetukset ovat resoluutio, näytteenottotarkkuus ja käytetyt globaalin valaistuksen menetelmät asetuksineen.

## 6.3 Renderöintiasetukset projektissa

Projektin aikana suoritettut renderöinnit voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan, luonnostason ja tuotantotason renderöinteihin. Luonnosrenderöintivaiheessa renderöintiasetukset pidettiin mahdollisimman karkeina ajankäytön tehostamiseksi. Tuotantovaiheen ja luonnosvaiheen renderöinneissä suurimmat muutokset ja eroavaisuudet koskivat resoluutio-, näytteenottotarkkuus- ja Final Gather -asetuksia [taulukko 1]. Nämä asetukset olivat myös suurimmat renderöintiaikaan vaikuttavat tekijät projektissa. Suurin poikkeus luonnosvaiheen renderöinteihin aiheutui pikkutarkkojen pintojen luomisvaiheessa, jossa resoluutiota ja näytteenottotarkkuutta oli nostettava luonnosasetuksia huomattavasti korkeammiksi pinnan yksityiskohtien tarkkailemisen mahdollistamiseksi. Ajan säästämiseksi sekä luonnosvaiheen että tuotantovaiheen renderöinneissä käytettiin paljon aluerenderöintiä. Aluerenderöinnissä kuva-alasta valitaan renderöitävä alue säädettävällä suorakaiteen muotoisella valitsimella, ja vain valitsimen sisäpuoleinen alue renderöidään. [34, s. 4–5.]



## 7 Jälkikäsittely Photoshopissa

3D-ohjelmasta renderöity kuva on harvoin sellaisenaan julkaisukelpoinen. Vaikka kuva saattaisi näyttää kovinkin valmiilta ja realistiselta, paljastaa vähänkään kokeneempi silmä siitä usein pieniä hiomisen kohteita, joiden muokkaaminen saattaa vaikuttaa kuvan tunnelmaan merkittävästi. Suosituin kuvien käsittelyyn käytetty ohjelma on Adobe Photoshop. Projektia varten renderöidyistä tuotantovaiheen kuvista jokainen kävi läpi jälkikäsittelyvaiheen Adoben Photoshop CS3 -ohjelmassa. Tärkeimmät suoritettut jälkikäsittelyvaiheet olivat heittovarjojen luominen, valotuksen korjaus, värikorjailut, tekstuurikorjaukset ja osaan kuvista suoritettut kieliversioiden tekstinvaihdot ilman erillistä renderöintiä.

Projektin jälkikäsittelyosuudessa oli kokonaisuudessaan melko paljon parantamisen varaa. Photoshop-tiedostot paisuivat melko isoiksi, runsastasoisiksi ja kankeiksi. Kankeuden välttämiseksi tasojen selkeämpi organisointi, jatkuva tasojen ja ryhmien nimeäminen ja render-tasojen tehokkaampi hyödyntäminen olisivat parantaneet tilannetta. Myös mahdolliset myöhemmin suoritettavat jälkityöt helpottuvat ja ovat mahdollisia muillekin työntekijöille, kun Photoshop-tiedosto on loogisesti organisoitu ja johdonmukainen.

### 7.1 Render Elements -tasot

Renderöinnin tuotteena syntyvä kuva muodostuu useista visuaalisista elementeistä, joita ovat muun muassa varjot, heijastukset ja pintojen värit. Sen sijaan, että kuva renderöitäisiin yhdeksi kankeasti käsiteltäväksi kuvatiedostoksi, se voidaan jakaa Render Elements -tasoilla haluttuihin visuaalisiin komponentteihin, joista kukin tallentuu erillisenä kuvatiedostonaan. Render Elements -tasot nopeuttavat jälkikäsittelyprosessia huomattavasti. Esimerkkejä render-tasoista ovat alfa-, heijastus- ja varjotasot. [32, s. 7.] Photoshop-ohjelman toiminta perustuu pitkälti päällekkäin aseteltaviin "läpinäkyviin" tasoihin, joten Render Elements -tasojen käsittely Photoshopissa on luontevaa.

Ainoa projektin yhteydessä käytetty render-taso oli alfa-taso, jonka avulla taustan ja kohteen erottaminen toisistaan jälkikäsittelyvaiheessa onnistui vaivattomasti. Alfa-taso on harmaasävyinen läpinäkyvyyttä kuvaava taso. Sen mustat pikselit ovat läpinäkyviä, valkoiset pikselit läpinäkymättömiä ja harmaat pikselit läpikuultavia [35]. Projektissa

alfa-kanavaa käytettiin objektien ja taustan erottamiseen toisistaan. Erottamistoimenpide oli järkevää toteuttaa ennen asiakkaalle toimittamista, sillä asiakas lisäsi kuvien objektit tekemiensä taustojen päälle. Jälkiviisaana toteamuksena myös muiden render-tasojen (esimerkiksi heijastus- ja objectID-tasot) tuonti ja soveltaminen jälkikäsittelyvaiheessa olisi nopeuttanut jälkikäsittelyprosessia.

## 7.2 Varjojen ja valaistuksen viimeistely

Koska lopullisesta 3Ds Max -ohjelmassa toteutetusta valaisuratkaisusta jätettiin terävät heittovarjot pois, ne oli toteutettava jälkikäsittelynä Photoshopissa. Varjostettujen alueiden laajuudet ja varjojen voimakkuudet määriteltiin melko pitkälti mainostoimiston toimittamista viitekuvista omaa näkemystä hyödyntäen. Varjot toteutettiin Photoshopista löytyvän valotuksensäätötason (Exposure adjustment layer) ja sille annetun maskin avulla. Ensimmäiseksi rajattiin alue, jolle heittovarjo haluttiin, ja tämän jälkeen valittiin säätötasoista valotuksensäätötaso, jolloin Photoshop loi tarvittavan maskin automaattisesti. Koska varjot harvemmin ovat veitsenteräviä, pehmennettiin varjojen reunoja maskia muokkaamalla.

Paikoitellen valaistuksellisesti latteita laatikoiden seinämiä elävöitettiin pehmeitä valon ja varjon eroja luomalla. Tähän toimenpiteeseen käytettiin tilanteen mukaan joko tummentavilla tai vaalentavilla asetuksilla varustettuja valotuksensäätötasoja, joita maskaamalla valoa ja varjoa ”maalattiin” haluttuihin kohtiin.

## 7.3 Tekstuurikorjaukset, jälkiteksturointi ja tekstipäivitykset

Osa renderöidyistä tekstuureista oli syystä tai toisesta asettunut virheellisesti tai ”re-vennyt”. Pienten pintavirheiden korjaamiseen käytettiin useimmiten ”Clone Stamp” -työkalua, jonka avulla ehjää pintaa voitiin kopioida virheellisen pinnan päälle. Osaan renderöidyistä kuvista jouduttiin renderöidyn materiaalin ”kelvottomuuden” ja tiukan aikataulun takia asentamaan tekstuuri Photoshop -ohjelmassa jälkikäteen. Halutun tekstuurin skaalaaminen kuution kylkeen oli yksinkertainen toimenpide, mutta tekstuurin lopullinen sulauttaminen muuhun kuution vaati luovia säätötoimenpiteitä. Myös suuri osa kuutioiden kyljissä olevista teksteistä asetettiin jälkikäsittelyvaiheessa. Tämä oli hyvin joustava ja aikaa säästävä tapa tekstien asettelemiseksi ja mahdollisesti eri kieliver-

sioiden luonnin käsiteltävästä kuvasta ilman erillistä renderöintiä. Osa lopullisista jälkikäsitellyistä kuvista on työn liitteenä.

## 8 Yhteenveto

Erilaisten 3D-tekniikoiden ja niiden vaatimien työvaiheiden kirjo kasvoi asiakasprojektin edetessä melko kattavaksi. Esimerkiksi mallintamisvaiheen yksinkertaistamiseksi ja tehostamiseksi valjastettiin 3Ds Max -ohjelman modifikaattorit tehokkaasti käyttöön. Modifikaattoreiden avulla useat polygonimallintamisen keinoin haastavat ja aikaa vievät tehtävät toteutuivat vaivattomasti ja nopeasti. Objekteilte luodut materiaalit loivat myös omat haasteensa. Asiakkaan fotorealismiin tähtäävien vaatimusten toteuttaminen ei ollut helppoa etenkin paperipintaisten materiaalien kohdalla. Suuri apu materiaalien luomisvaiheessa olivat asiakkaalta saadut viitemateriaalit, joita tarkastelemalla suurin osa materiaalin luomiseen liittyvistä ongelmakohdista kyettiin konkreettisesti havaitsemaan, ja lopulta ratkaisemaan. Virtuaalistudion rakentamiseen liittyvä valaisuprosessi oli yksi projektin haastavimmista osuuksista. Vähäisen valaisukokemuksen vuoksi suuri osa valaisukeinoista, valaisun tarjoamista mahdollisuuksista ja erilaisista valaisimista sekä näiden yhdessä muodostamasta lopullisesta valaisuratkaisuista oli opeteltava useiden tietolähteiden kautta. Projektin aikana ymmärrys valaisun eri tavoista ja valon teoreettisesta käyttäytymisestä kasvoi huomattavasti. Materiaalien ja valaistuksen lisäksi yksi fotorealistisia renderöintejä silmällä pitäen tärkeä osa-alue on renderöinti, ja kulloinkin käytettävän renderöintimoottorin riittävä hallinnan taso. Projektissa käytetty Mental Ray -renderöintimoottori on yleisesti tunnustettu haastavaksi oppia. Renderöintikokemus ja Mental Ray -renderöintimoottorin ymmärrys kasvoivat projektin aikana kohtuulliselle tasolle. Yksi suurimmista renderöintiin liittyvistä haasteista oli löytää sopiva tasapaino käytettävien materiaalien, valaistuksen, kuvanlaadun ja renderöintopeuden välillä, minkään niistä liikaa kärsimättä.

Toteutettu asiakasprojekti oli kokonaisuudessaan varsin haastava ja mielenkiintoinen. Päävastuullisena projektin toteuttajana sain melko paljon vastuuta harteilleni ja tiukat aikataulut takarajoineen, ylityöt ja uusinnat asiakkaan pyynnöstä tulivat tutuiksi. Aikaa projektin toteuttamiseen kului huomattavasti enemmän kuin mitä muutaman kuution mallintamisesta voisi uskoa, mutta 3D-grafiikkaa työستettäessä ajankäytöllisesti suurin tekijä ei yleensä ole mallinnusvaihe vaan valaistuksesta, materiaaleista, renderöinnistä ja jälkikäsittelystä aiheutuva työäärä. Ajankäyttöä tarkasteltaessa on myös huomiotava, että uusia opittavia asioita tuli vastaan koko projektin ajan. Projekti oli opettavainen kokemus niin asiakastyön tuomien haasteiden ja kokemusten kannalta kuin myös

kattavan teknisen viidakkonsa ansiosta. Uusia opeteltavia asioita ja tekniikoita tuli vastaan melkoinen joukko, ja opittujen tekniikoiden soveltaminen jatkossa antanee eväitä yhä tehokkaampaan työskentelyyn ja näyttävämpiin lopputuloksiin. Kaikista haasteista huolimatta projekti valmistui asiakkaan näkökulmasta ajallaan ja lopputulokseen oltiin tyytyväisiä molemmiin puolin.

Vaihtoehtoisia menetelmiä samankaltaisten objektien toteuttamiseksi löytyi pienen etsinnän jälkeen useita. Projektin ollessa jo loppusuoralla selvisi, että Metropolian Leppävaaran yksikön painolaboratoriossa on Esko Artwork Studio -niminen pakkaussuunnitteluohjelma. Ohjelma toimii muun muassa Adobe'n Illustrator -ohjelman liitännäisenä, ja Illustratorissa luotujen suunnitelmien tuonti 3Ds Max -ohjelmaan onnistuu kummassakin ohjelmassa tuetun Collada-tiedostomuodon avulla. Myös Modo-nimiseen 3D-ohjelmistoon on saatavilla erillinen PACK-lisäosa, jonka avulla pakkausten mallintamisesta ja teksturoinnista on tehty suoraviivaista ja nopeaa. Koska viitekuvat pakkausten graafisesta ilmeestä toteutettiin ja toimitettiin asiakkaan puolesta ja geometriset muodot olivat lähinnä kuutioita, ei tarvetta varsinaiselle pakkaussuunnitteluohjelmalle tosin ollut, vaan tärkeimmiksi seikoiksi lopputuloksen kannalta nousivat valaistus, kuvakulmien oikeellisuus ja pintamateriaalien laatu. Näihin toimenpiteisiin 3Ds Max -ohjelma perustoimintoihinsa soveltui varsin mainiosti.

## Lähteet

1. Vuosikertomus 2010. Verkkodokumentti. Metsäliitto-konserni.  
<<http://www.metsaliitto.fi/Taloustietoa/Documents/Mets%C3%A4liitto-konsernin%20Vuosikertomus%202010.pdf>> Luettu 11.5.2011.
2. Vuosikertomus 2010. Verkkodokumentti. M-real Oyj. <[http://www.m-real.com/materialarchive/Material%20Archive/Annual%20reports%20and%20summaries/2011/m-real\\_vuosikertomus\\_2010\\_fi.pdf](http://www.m-real.com/materialarchive/Material%20Archive/Annual%20reports%20and%20summaries/2011/m-real_vuosikertomus_2010_fi.pdf)> Luettu 11.5.2011.
3. Salmi, Mikko. Kertopuu. Verkkodokumentti. PuuProffa.  
<<http://www.puuproffa.fi/arkisto/kertopuu.php>> Luettu 9.5.2011.
4. Textures for 3D, graphic design and Photoshop. Verkkodokumentti. CG Textures. <<http://www.cgtextures.com>> Luettu 9.5.2011.
5. Stock Photography: Search Royalty Free Images & Photos. Verkkodokumentti. iStockphoto. <<http://www.istockphoto.com>> Luettu 9.5.2011.
6. 3-D Pictures. Verkkodokumentti. How Stuff Works.  
<<http://computer.howstuffworks.com/3dgraphics1.htm>> Luettu 27.4.2011.
7. Vainonen, Eppu. 2011. Valo ja varjo 3D-taiteilijan työkaluina. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu.
8. Dergaeva, Marija. 2010. 3D-tuotokuva – Case Adams Oy. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
9. Using the Modifier Stack. Verkkodokumentti. 3D Max-tutorials.  
<[http://www.3dmax-tutorials.com/Using\\_the\\_Modifier\\_Stack.html](http://www.3dmax-tutorials.com/Using_the_Modifier_Stack.html)> Luettu 10.5.2011.
10. Autodesk 3ds Max Help: Edit Poly Modifier. Verkkodokumentti. Autodesk.  
<<http://docs.autodesk.com/3DSMAX/13/ENU/Autodesk%203ds%20Max%202011%20Help/index.html?url=../files/WSf742dab04106313366400bf6112a1cea097-7f61.htm,topicNumber=d0e64914>> Luettu 13.4.2011.
11. Camera Matching. 2001. Verkkodokumentti. Computing Services.  
<<http://www.andrew.cmu.edu/course/48-568/PDFs/3DStudio/CameraMatching.pdf>> Luettu 13.4.2011

12. Malagrino, Mario. Illumination Tutorial for Industrial/ Product/ Furniture Design. Verkkodokumentti. Florence Design Academy.  
<<http://www.mariomalagrino.com/advanced-illumination.pdf>>  
Luettu 13.4.2011.
  
13. Ulmanen, Tommi. 2010. Studio valmistui. Verkkodokumentti. Tommi Ulmanen Photography. <<http://www.tommiulmanen.fi/blog/?tag=studio-mikkeli>> Luettu 10.5.2011.
  
14. Child, John. 2008. Studio Photography: Essential Skills. 4th ed. Focal Press.
  
15. Ashley, Chad. Studio Lighting Prt. One – Mental Ray. Verkkodokumentti. Vimeo.  
<<http://vimeo.com/7869073>> Luettu 13.4.2011.
  
16. Ashley, Chad. Studio Lighting Prt. Two – Mental Ray. Verkkodokumentti. Vimeo.  
<<http://vimeo.com/8144061>> Luettu 13.4.2011.
  
17. Määttä, Susanna. 2010. Arkkitehtuurin visualisoinnista. Verkkodokumentti. Arkkitehtitoimisto Eero Korhonen Oy.  
<<http://www.arkkitehtikorhonen.fi/index.php?mod=articles&show=20>> Luettu 10.5.2011.
  
18. O'Connor, Jennifer. 2010. Mastering Mental Ray: Rendering Techniques for 3D and CAD Professionals. Indianapolis: Wiley Publishing.
  
19. Don't Panic - An Introduction to the Slate Material Editor. Verkkodokumentti. Autodesk Area. <[http://area.autodesk.com/blogs/eddie/don\\_t\\_panic\\_an\\_introduction\\_to\\_the\\_slate\\_material\\_editor](http://area.autodesk.com/blogs/eddie/don_t_panic_an_introduction_to_the_slate_material_editor)> Luettu 10.5.2010.
  
20. Kämppi, Toni. 2007. Mallinnus ja teksturointi virtuaalitodellisuussovellukseen. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu.
  
21. Väisänen, Kalle. 2010. Kuluneen metallipinnan realistinen teksturointi. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
  
22. Arch & Design Material (Mental Ray) – Overview. Verkkodokumentti. KXCad.  
<[http://www.kxcad.net/autodesk/3ds\\_max/Autodesk\\_3ds\\_Max\\_9\\_Reference/arch\\_design\\_material\\_overview.html](http://www.kxcad.net/autodesk/3ds_max/Autodesk_3ds_Max_9_Reference/arch_design_material_overview.html)> Luettu 13.4.2011.
  
23. Diffuse Maps. 2007. Verkkodokumentti. Splash Damage.  
<[http://wiki.splashdamage.com/index.php/Diffuse\\_Maps](http://wiki.splashdamage.com/index.php/Diffuse_Maps)> Luettu 27.4.2011.

24. Better Bump Maps. Verkkodokumentti. Maxwell Resource Center.  
<<http://think.maxwellrender.com/video.php?id=56>> Luettu 27.4.2011.
25. UVW Map Modifier. Verkkodokumentti. 3D Max-Tutorials. <[http://www.3dmax-tutorials.com/UVW\\_Map\\_Modifier.html](http://www.3dmax-tutorials.com/UVW_Map_Modifier.html)> Luettu 10.5.2010.
26. Rantakoski, Arto. 2010. 3D-animaation tuotantoprosessi. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu.
27. Jokela, Markus. 2009. Mental Ray renderöinnin optimointi 3ds Max -ohjelmassa. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu.
28. Mental Ray. Verkkodokumentti. Mental Images.  
<<http://www.mentalimages.com/products/mental-ray.html>> Luettu 10.5.2011.
29. Smith, Brian L. 2008. 3ds Max 2009 Architectural Visualization. Chapter 11. 3DATS.
30. Smith, Brian L. 2008. 3ds Max 2009 Architectural Visualization. Chapter 12. 3DATS.
31. Livny, Boaz. 2008. Mental Ray for Maya, 3ds Max, and XSI: A 3D Artist's Guide to Rendering. Indianapolis: Wiley Publishing.
32. Kemppinen, Ilkka. 2007. Render-tasojen käyttö 3D-jälkikäsittelyssä. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu.
33. Kerlow, Isaac Victor. 2004. The Art of 3D Computer Animation and Effects. 3<sup>rd</sup> edition. New Jersey: John Wiley & Sons.
34. O'Connor, Jennifer. 2008. Mental Ray 102: Lighting. Verkkodokumentti. College of Lake County.  
<[http://www.max3ds.com/Download/mental\\_ray\\_102.pdf](http://www.max3ds.com/Download/mental_ray_102.pdf)> Luettu 12.5.2011.
35. Render Elements Rollout. Verkkodokumentti. 3D Max-Tutorials.  
<[http://www.3dmax-tutorials.com/Rendering\\_Elements\\_Separately\\_Render\\_Elements\\_Rollout\\_.html](http://www.3dmax-tutorials.com/Rendering_Elements_Separately_Render_Elements_Rollout_.html)> Luettu 12.5.2011.



Tuotettuja kuvia











